



ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG NƯỚC THẢI XI MẠ ĐỒNG (Cu^{2+}) CỦA CHẤT KEO TỤ SINH HỌC TRÍCH LI TỪ HẠT MUỖNG HOÀNG YẾN (Biogum)

Đào Minh Trung^{1*}, Nguyễn Võ Châu Ngân²

¹Khoa Tài nguyên Môi trường – Trường Đại học Thủ Dầu Một

²Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên - Trường Đại học Cần Thơ

Ngày Tòa soạn nhận được bài: 08-5-2017; ngày phân biện đánh giá: 25-5-2017; ngày chấp nhận đăng: 19-6-2017

TÓM TẮT

Nghiên cứu đã đánh giá hiệu quả xử lý nước thải xi mạ nhân tạo với các thông số khảo sát ban đầu: $\text{pH} = 5$; $\text{Cu}^{2+} = 25$ (mg/L), sử dụng vật liệu keo tụ sinh học Biogum và vật liệu keo tụ hóa học PAC. Kết quả khảo sát trên đối tượng nước thải xi mạ Cu^{2+} cho thấy hiệu suất cải thiện của Biogum ở liều lượng tối ưu đạt 83,11% trong khi PAC đạt chỉ 68,93%. Qua đó cho thấy vật liệu Biogum có thể đề xuất nghiên cứu thay thế vật liệu hóa học PAC.

Từ khóa: chất keo tụ hóa học, chất keo tụ sinh học, keo tụ tạo bông, nước thải xi mạ đồng, Muồng Hoàng Yến.

ABSTRACT

Evaluating copper plating wastewater quality of biological flocculants

This study evaluated the effect of artificial plating wastewater treatment with initial survey parameters $\text{pH} = 7$; $\text{Cu}^{2+} = 25$ (mg/L), use bio-flocculants Biogum and chemical flocculants PAC. Survey results on Cu^{2+} plating water show that the optimum biogum conversion efficiency was 83,11% while PAC reached 68,93%. This suggests that Biogum could propose a substitute for PAC.

Keywords: chemical flocculants, bio-flocculants, flocculation, copper plating wastewater, Cassia fistula L.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây với sự phát triển của thế giới về mọi mặt, trong đó các ngành công nghiệp có những bước phát triển mạnh mẽ, tạo ra nhiều sản phẩm đa dạng có chất lượng cao, đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng của thị trường và con người. Bên cạnh những thành tựu to lớn đó con người đã dần hủy hoại môi trường sống của mình do các chất thải thải ra từ các công đoạn sản xuất mà không qua xử lý hoặc xử lý không triệt để. Sử dụng hóa chất có nguồn gốc hóa học trong quá trình vận hành để cải thiện chất lượng nước thải công nghiệp, xi mạ, dệt nhuộm, thủy sản... được ứng dụng khá rộng rãi. Tuy nhiên, trong quá trình xử lý dư lượng của chúng đã gây ô nhiễm trực tiếp hoặc gián tiếp qua chất ô

* Email: moitruongviet.trung@gmail.com

nhiễm thứ cấp đến môi trường tiếp nhận [1]. Ngoài ra ô nhiễm thứ cấp còn làm thay đổi tính chất vật lí, hóa học, sinh học của hệ sinh thái của nước theo chiều hướng xấu đi và đây là thực trạng cấp thiết cần có giải pháp thay đổi vật liệu trong quá trình vận hành từ đó cải thiện chất lượng môi trường tiếp nhận [2].

Bảng 1. Các chỉ số ô nhiễm kim loại nặng của nước thải xi mạ [3]

Chỉ tiêu	Đơn vị	Nước thải chưa xử lí	QCVN 40 – 2011/BTNMT	
			A	B
pH	-	3 – 11	6 – 9	5,5 – 9
Niken (Ni)	mg/l	5 – 85	0,2	0,5
Crôm (Cr VI)	mg/l	1 – 100	0,05	0,1
Kẽm (Zn)	mg/l	2 – 150	3	3
Đồng (Cu)	mg/l	15 – 200	2	2

Trong công trình [4] đã chỉ ra rằng công nghiệp mạ điện và gia công kim loại một mặt thải ra lượng lớn kim loại nặng, trong đó có đồng (Cu), niken (Ni) và kẽm ion (Zn) và là một vấn nạn lớn gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người và đời sống thủy sinh. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, kim loại đồng không thể phân hủy và gây ung thư cũng như bệnh Wilson. Bên cạnh tác hại của đồng, niken gây dị ứng da, dễ gây tổn thương cho hệ hô hấp, hệ thần kinh cũng như màng nhầy tế bào. Kẽm gây rối loạn tiêu hóa và dẫn đến tiêu chảy khi vào cơ thể qua đường thức ăn.

Với thành phần ô nhiễm kim loại nặng trong nước thải xi mạ, một số phương pháp cải thiện chất lượng nước được đề xuất, phương pháp hóa lí, hóa học, phương pháp màng hay vật liệu tự nhiên [4]

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nước thải xi mạ đồng nhân tạo được pha chế trong phòng thí nghiệm được nghiên cứu ở nồng độ ô nhiễm 25 mg/1L với hóa chất sử dụng là $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Với nồng độ ô nhiễm của nước thải đầu vào nhà máy xi mạ từ 15 – 200 (Bảng 1) và chất lượng đầu ra cột A và B là 2 mg/1L. Nên chọn nồng độ nghiên cứu là 25 mg/1L để phù hợp và tiết kiệm chi phí nghiên cứu.

2.2. Hóa chất nghiên cứu

- Vật liệu sinh học (Biogum), được trích li từ hạt cây Muồng Hoàng Yến theo phương pháp hòa tan trong nước cất [5];
- PAC sử dụng nghiên cứu có công thức chung $(\text{Aln}(\text{OH})_m\text{Cl}_{n-m})$, Poli Alumino Clorua);
- Một số hóa chất dùng điều chỉnh pH: H_2SO_4 1N;

- PAC dùng nghiên cứu ở nồng độ 3g/100 mL nước cất;
- Biogum dùng nghiên cứu ở nồng độ 4g/ 100 mL nước cất.

2.3. Thiết bị nghiên cứu

- Thiết bị đo pH Mettler Toledo;
- Máy đo kim loại nặng AAS (atomic absorption spectrometer);
- Mô hình Jarstest.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp lấy mẫu và phân tích

Lấy mẫu - theo TCVN 5999:1995. Bảo quản mẫu - theo TCVN 4556:1988. Phân tích pH theo TCVN 6492:1999. Phân tích kim loại nặng trên máy AAS (atomic absorption spectrometer), theo phương pháp phở hấp thu nguyên tử. Các thí nghiệm thực hiện ở nhiệt độ môi trường (25 -32°C), áp suất 1atm và chọn nồng độ cho ion kim loại nặng (Cu^{2+}) là 25 mg/L.

2.5. Nội dung thực hiện.

❖ Thí nghiệm 1. Xác định loại PAC phù hợp

- Ba loại mã PAC này được cấp phân phối trên thị trường Thành phố Hồ Chí Minh.

Tiến hành thí nghiệm: Chuẩn bị 3 cốc thể tích 1 lít. Mỗi cốc cho 1L nước thải có các thông số pH, nồng độ đầu vào (mg/L) được mô tả ở Bảng 3; Sau khi thêm vào mỗi cốc hàm lượng chất keo tụ được mô tả ở Bảng 4, đưa cốc lên thiết bị Jarstest tiến hành khuấy nhanh 200 vòng/phút trong vòng 5 phút, khuấy chậm 20 vòng/phút trong 5 phút [5]. Sau khi lắng cặn 30 phút, lấy dung dịch xác định nồng độ ion kim loại nặng (Cu^{2+}) bằng máy AAS 7000.

Bảng 3. Loại PAC sử dụng trong thí nghiệm

MẪU	PVCu	PDCu	PYCu
pH	Ban đầu	Ban đầu	Ban đầu
PAC (mL)	10	10	10
Loại PAC	PAC 01V	PAC 02D	PAC 02Y
Nước thải	Cu^{2+}	Cu^{2+}	Cu^{2+}
Nồng độ đầu vào (mg/1L)	25	25	25

Chú thích:

- PVCu: Cố định pH ban đầu, thêm vào PAC 01V với lượng PAC là 10mL
- PDCu: Cố định pH ban đầu, thêm vào PAC 02D với lượng PAC là 10mL
- PYCu: Cố định pH ban đầu, thêm vào PAC 02Y với lượng PAC là 10mL

❖ Thí nghiệm 2. Xác định pH tối ưu của PAC và Biogum

Bố trí thí nghiệm xác định pH tối ưu của PAC

Bảng 4. Thí nghiệm xác định pH tối ưu cho vật liệu hóa học PAC

Mẫu Cu ²⁺	PCuH1	PCuH2	PCuH3
pH	2	3	5
Loại PAC	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu
Liều lượng PAC (mL)	10	10	10
Nồng độ đầu vào (mg/1L)	25	25	25

Chú thích:

- PCuH1: Điều chỉnh pH về giá trị 2 và thêm vào loại PAC tối ưu và lượng PAC là 10 mL
- PCuH2: Điều chỉnh pH về giá trị 3 và thêm vào loại PAC tối ưu và lượng PAC là 10 mL
- PCuH3: Điều chỉnh pH về giá trị 5 và thêm vào loại PAC tối ưu và lượng PAC là 10 mL

Thí nghiệm được tiến hành với giá trị pH biến thiên 2,3,5 với lượng chất keo tụ PAC (mL) như ở Bảng 4, tổng cộng có 3 nghiệm thức. Tiến hành khuấy nhanh 200 vòng/phút trong vòng 5 phút, khuấy chậm 20 vòng/phút trong 5 phút [6], sau đó lắng với thời gian lắng 30 phút. Giá trị pH mong muốn sẽ được điều chỉnh bằng cách cho để H₂SO₄ 1N để hạ pH.

Sau khi thí nghiệm thu mẫu phân tích, lấy mẫu nước trong đo nồng độ ion kim loại nặng (Cu²⁺), so sánh hiệu suất loại bỏ nồng độ ion kim loại nặng (Cu²⁺) của mỗi cốc để xác định được cốc có giá trị pH tốt nhất → pH tối ưu.

Bố trí thí nghiệm xác định pH tối ưu của Biogum

Bảng 5. Thí nghiệm xác định pH tối ưu cho vật liệu sinh học Biogum

Mẫu Cu ²⁺	GCuH1	GCuH2	GCuH3
pH	2	3	5
Biogum (mL)	7,5	7,5	7,5
Nồng độ đầu vào (mg/1L)	25	25	25

Chú thích:

- GCuH1: Điều chỉnh pH về giá trị 2 và thêm vào 7,5 mL Biogum
- GCuH2: Điều chỉnh pH về giá trị 3 và thêm vào 7,5 mL Biogum
- GCuH2: Điều chỉnh pH về giá trị 5 và thêm vào 7,5 mL Biogum

Thí nghiệm được tiến hành với giá trị pH biến thiên 2,3,5 với lượng chất keo tụ Biogum (mL) như ở Bảng 6, tổng cộng có 3 nghiệm thức. Tiến hành khuấy nhanh 200 vòng/phút trong vòng 5 phút, khuấy chậm 20 vòng/phút trong 5 phút [6], sau đó lắng với thời gian lắng 30 phút. Giá trị pH mong muốn sẽ được điều chỉnh bằng cách cho để H₂SO₄ 1N để hạ pH.

Sau khi thí nghiệm thu mẫu phân tích, lấy mẫu nước trong đo nồng độ ion kim loại nặng (Cu²⁺), so sánh hiệu suất loại bỏ nồng độ ion kim loại nặng (Cu²⁺) của mỗi cốc để xác định được cốc có giá trị pH tốt nhất → pH tối ưu.

❖ **Thí nghiệm 3. Xác định liều lượng tối ưu của PAC và Biogum trên nước thải giả định**

Bố trí thí nghiệm

- PAC

Bảng 6. Thí nghiệm xác định liều lượng tối ưu cho vật liệu hóa học PAC trên nước thải giả định

Mẫu Cu ²⁺	PCu L1	PCu L2	PCu L3	PCu L4	PCu L5
pH	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu
Loại PAC	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu
PAC (mL)	20	30	40	50	60
Nồng độ đầu vào (mg/1L)	25	25	25	25	25

Chú thích:

- PCuL1: Cố định pH tối ưu, loại PAC phù hợp và thêm vào 20 mL PAC
- PCuL2: Cố định pH tối ưu, loại PAC phù hợp và thêm vào 30 mL PAC
- PCuL3: Cố định pH tối ưu, loại PAC phù hợp và thêm vào 40 mL PAC
- PCuL4: Cố định pH tối ưu, loại PAC phù hợp và thêm vào 50 mL PAC
- PCuL5: Cố định pH tối ưu, loại PAC phù hợp và thêm vào 60 mL PAC

Các thí nghiệm nghiên cứu được tiến hành ở điều kiện như các thí nghiệm trước, lượng keo tụ PAC (mL) thay đổi như Bảng 7, pH tối ưu được chọn từ Thí nghiệm 2 và được điều chỉnh bằng dung dịch H₂SO₄.

Khuấy nhanh 200 vòng/phút trong vòng 5 phút, khuấy chậm 20 vòng/phút trong 5 phút [6]. Để lắng cặn 30 phút, lấy dung dịch xác định nồng độ ion kim loại nặng (Cu²⁺) bằng thiết bị đo kim loại nặng AAS 7000.

- **Biogum**

Bảng 7. Thí nghiệm xác định liều lượng tối ưu cho vật liệu sinh học Biogum trên nước thải giả định

Mẫu Cu ²⁺	GCuL1	GCuL2	GCuL3	GCuL4	GCuL5
pH	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu	Tối ưu
Nồng độ đầu vào (mg/1L)	25	25	25	25	25
Biogum (mL)	10	20	30	40	50

Chú thích:

- GCuL1: Cố định pH tối ưu và thêm vào 10 mL Biogum
- GCuL2: Cố định pH tối ưu và thêm vào 20 mL Biogum
- GCuL3: Cố định pH tối ưu và thêm vào 30 mL Biogum
- GCuL4: Cố định pH tối ưu và thêm vào 40 mL Biogum
- GCuL5: Cố định pH tối ưu và thêm vào 50 mL Biogum

Các thí nghiệm nghiên cứu được tiến hành ở điều kiện như các thí nghiệm trước, lượng keo tụ Biogum (mL) thay đổi như Bảng 8, pH tối ưu được chọn từ Thí nghiệm 2 và được điều chỉnh bằng dung dịch H₂SO₄.

Khuấy nhanh 200 vòng/phút trong vòng 5 phút, khuấy chậm 20 vòng/phút trong 5 phút [6]. Để lắng cặn 30 phút, lấy dung dịch xác định nồng độ ion kim loại nặng (Cu^{2+}) bằng thiết bị đo kim loại nặng AAS 7000.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xác định các thông số vận hành tối ưu

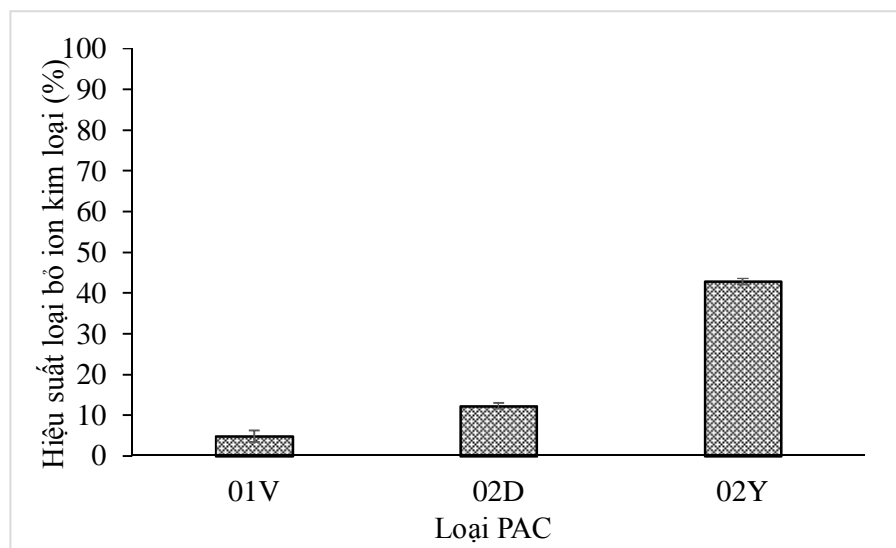
- *Xác định loại PAC phù hợp cho nước thải*

Bảng 8. Kết quả phân tích ion kim loại Cu^{2+}

STT	Kí hiệu	PAC(mL)	pH	Cu (mg/L)
1	PVCu	10	4,14±0,06	23,82±0,20
2	PDCu	10	5,06±0,08	22,15±0,4
3	PYCu	10	5,35±0,06	15,51±0,77
4	Cu BD	0	5,36±0,15	25,00±0,00

- Kết quả nghiên cứu ở Bảng 8 cho thấy ở mức ý nghĩa 0,05 kết quả phân tích ion kim loại (Cu^{2+}) ở các loại PAC có sự khác nhau về mặt thống kê.

Đồ thị 1. Xác định loại PAC tối ưu dựa vào hiệu suất xử lí



Kết quả nghiên cứu cho thấy ở mẫu PAC 02Y cho hiệu suất loại bỏ ion kim loại Cu^{2+} đạt 37,96%, qua đó cho thấy PAC 02Y phù hợp cho việc thực hiện thí nghiệm.

Do trong quá trình chế tạo PAC, lượng nhôm oxit có thành phần khác nhau trong PAC và các thành phần khác trong các loại PAC khác nhau nên trong quá trình keo tụ cũng khác nhau do đó mỗi loại PAC chỉ phù hợp với 1 vài loại nước thải nhất định.

- *Xác định pH tối ưu*

Bảng 9. Kết quả phân tích ion kim loại – Xác định pH phù hợp của PAC

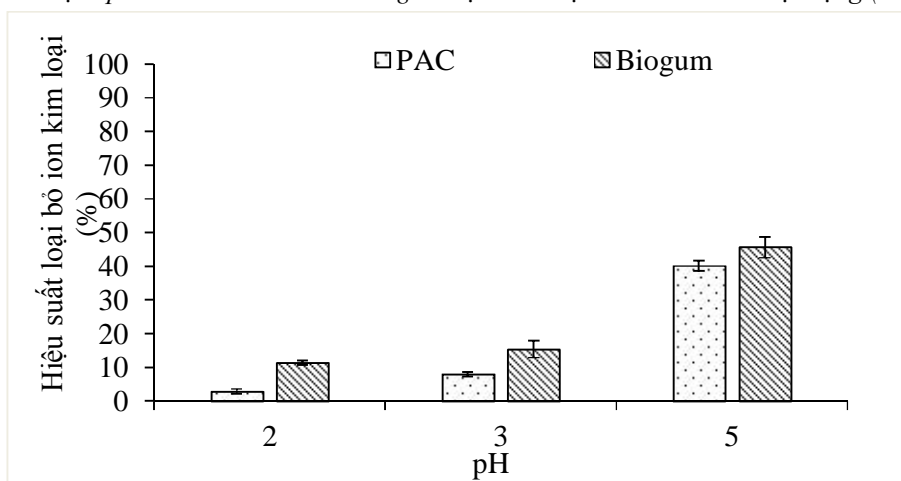
STT	Kí hiệu	PAC (mL)	pH	Cu (mg/L)
1	PCuH1	10	1,87±0,04	24,67±0,15
2	PCuH2	10	2,89±0,05	20,02±0,33
3	PCuH3	10	4,44±0,16	14,00±0,82
4	Cu BĐ	0	5,07±0,05	25,00±0,00

- Kết quả nghiên cứu ở Bảng 9 cho thấy ở mức ý nghĩa 0,05 kết quả phân tích ion kim loại (Cu^{2+}) ở các pH của PAC có sự khác nhau về mặt thống kê.

Bảng 10. Kết quả phân tích ion kim loại – Xác định pH phù hợp của Biogum

STT	Kí hiệu	Biogum (mL)	pH	Cu (mg/L)
1	GCuH1	7,5	2,09±0,13	20,37±0,17
2	GCuH2	7,5	2,88±0,17	19,37±0,17
3	GCuH3	7,5	5,20±0,10	13,60±0,38
4	Cu BĐ	0	5,13±0,03	25,00±0,00

- Kết quả nghiên cứu ở Bảng 10 cho thấy ở mức ý nghĩa 0,05 kết quả phân tích ion kim loại (Cu^{2+}) ở các pH của Biogum có sự khác nhau về mặt thống kê.

Đồ thị 2. Xác định pH tối ưu của PAC và Biogum dựa vào hiệu suất xử lý kim loại nặng (Cu^{2+})

Kết quả nghiên cứu ở pH = 5 cho thấy hiệu suất xử lý ion kim loại nặng Cu^{2+} bằng vật liệu hóa học PAC đạt 44% tốt hơn với hiệu suất ở các giá trị pH khác, Biogum đạt.

Khi nghiên cứu trên vật liệu sinh học Biogum cho thấy khi ở pH = 5 đạt hiệu suất xử lý ion kim loại đạt 46,6% tốt hơn với các giá trị pH khác. Theo [6] nhiều kim loại đã được hấp phụ ở các giá trị pH cao hơn của các dung dịch (pH 4 đối với Cr (III) và pH 5 đối với Cu (II) và Zn (II)). Qua đó cho thấy kết quả nghiên cứu có sự tương đồng về giá trị pH.

Bảng 11. Kết quả xử lý ion kim loại – Xác định liều lượng tối ưu của PAC

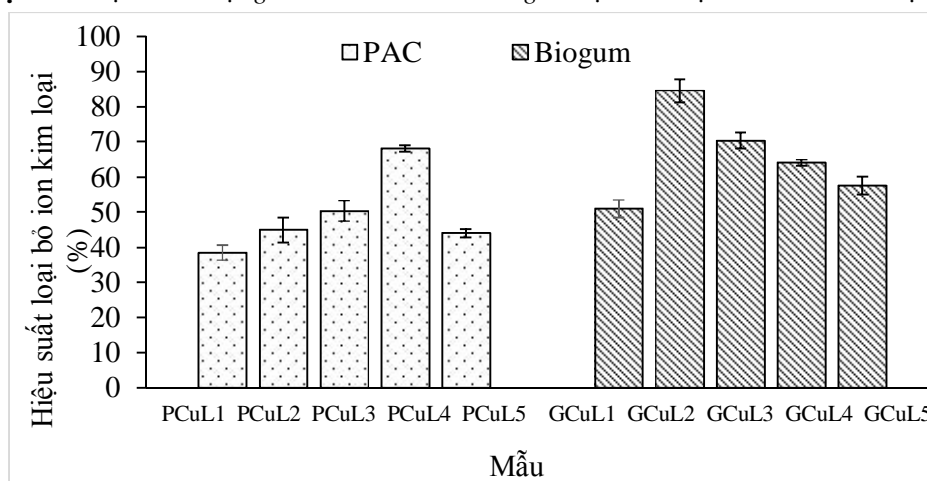
STT	Kí hiệu	PAC (mL)	pH	Cu (mg/L)
1	PCuL1	20	5,27±0,14	15,28±0,54
2	PCuL2	30	5,54±0,03	13,63±0,91
3	PCuL3	40	5,61±0,10	12,27±0,74
4	PCuL4	50	5,45±0,05	7,77±0,25
5	PCuL5	60	5,14±0,04	13,87±0,31
6	Cu BĐ	0	5,08±0,05	25,00±0,00

- Kết quả nghiên cứu ở Bảng 11 cho thấy ở mức ý nghĩa 0,05 kết quả phân tích ở các liều lượng của PAC có sự khác nhau về mặt thống kê.

Bảng 12. Kết quả phân tích ion kim loại – Xác định liều lượng tối ưu của Biogum

STT	Kí hiệu	Biogum (mL)	pH	Cu (mg/L)
1	GCuL1	10	5,24±0,14	16,24±0,39
2	GCuL2	20	5,40±0,10	4,22±1,00
3	GCuL3	30	5,69±0,20	8,10±0,61
4	GCuL4	40	5,68±0,12	9,80±0,25
5	GCuL5	50	5,93±0,24	11,58±0,72
6	Cu BĐ	0	5,27±0,24	25,00±0,00

- Kết quả nghiên cứu ở Bảng 12 cho thấy ở mức ý nghĩa 0,05 kết quả phân tích ở các liều lượng của Biogum có sự khác nhau về mặt thống kê.

Đồ thị 3. Xác định liều lượng tối ưu của PAC và Biogum dựa vào hiệu suất xử lý kim loại (Cu^{2+})

Kết quả nghiên cứu cho thấy với vật liệu hóa học PAC ở liều lượng 50 mL và vật liệu sinh học Biogum ở liều lượng 20 mL là tốt nhất với hiệu suất loại bỏ ion kim loại (Cu^{2+}) đạt được lần lượt là 68,93% và 83,11 %, qua đó cho thấy ở liều lượng tối ưu bằng vật liệu sinh học Biogum cho hiệu quả cải thiện tốt hơn vật liệu hóa học PAC. Ở kết quả

nghiên cứu của [8] cũng chỉ ra rằng khi sử dụng 0,5g bã mía để loại bỏ ion kim loại (Cu^{2+}) đạt hiệu quả 79,42%. Từ đó cho thấy kết quả nghiên cứu có sự tương đồng về hiệu quả cải thiện chất lượng nước thải.

4. Kết luận

Quá trình cải thiện chất lượng nước thải xi mạ đồng khi sử dụng vật liệu sinh học Biogum cho kết quả tốt hơn so với vật liệu hóa học PAC trong cùng điều kiện nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cho thấy ở giá trị tối ưu về pH và liều lượng vật liệu vật liệu Biogum cho hiệu suất cải thiện ion kim loại (Cu^{2+}) đạt 83,11% và tốt hơn vật liệu PAC, hiệu suất cải thiện chỉ đạt 68,93%.

Kết quả cho thấy, có sự khác biệt về hiệu suất cải thiện chất lượng nước thải xi mạ đồng khi sử dụng vật liệu sinh học so với hóa học. Mặt khác, về khía cạnh môi trường, Biogum chất thân thiện môi trường, có khả năng phân hủy trong môi trường nước tự nhiên. Qua đó có thể lựa chọn Biogum là vật liệu keo tụ sinh học thay thế cho vật liệu hóa học PAC trong thời gian tới.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học định hướng cho các nghiên cứu cải thiện chất lượng nước xi mạ kẽm, niken, crôm... trong thời gian tới. Bên cạnh đó hướng đi mới là tạo vật liệu sinh học thân thiện môi trường có thể thu hồi khi sử dụng và tái sử dụng là hướng nghiên cứu trong cải thiện chất lượng môi trường nước trong tương lai.

5. Thảo luận

Mặc dù Biogum có ưu điểm, khả năng phân hủy sinh học, tan trong nước và cho hiệu quả cải thiện ion kim loại Cu cao nhưng khó thu hồi và tái sử dụng. Do đó, để tăng tính kinh tế trong việc ứng dụng vật liệu này vào thực tế cần đề xuất nghiên cứu vật liệu kết hợp vừa có tính chất của Biogum và có khả năng thu hồi và tái sử dụng, đề xuất nghiên cứu vật liệu Biogum cải tiến để cải thiện chất lượng môi trường nước thải công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vijayaraghavan G., Sivakumar T., Kumar A. V., "Application of plant based coagulants for wastewater treatment," *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1(1): 88-92, 2011.
2. Đoàn Thị Thúy Ái, "Khảo sát khả năng hấp phụ chất màu xanh metylen trong môi trường nước của vật liệu CoFe_2O_4 / Bentonit," *Tạp chí Khoa học và Phát triển*, 11(2): 236-238, 2013.
3. Srisuwan, G. and Thongchai, P., "Removal of heavy metals from electroplating wastewater by membrane Songklanakarin," *J. Sci. Technol.*, 2002, 24(Suppl.) : 965-976.
4. Mukesh Parmar & Lokendra Singh Thakur, "Adsorption of Heavy Metal (Cu^{2+} , Ni^{2+} and Zn^{2+}) from Synthetic Waste Water by Tea Waste Adsorbent," *IJCPS JOURNAL*-Vol 2, Issue 6, Nov-Dec 2013, pp.6-19, 2013.
5. Hanif M. A., Nadeem R., Zafar M. N., Bhatti H. N., Nawaz R, Physico-chemical treatment of textile wastewater using natural coagulant *Cassia fistula* (Golden Shower) pod biomass. *Journal of Chemical Society of Pakistan*, 30(3): 385-393, 2008.

6. Nacke H., Gonçalves Jr. A. C., Campagnolo M. A., Coelho G. F., Schwantes D., Santos M. G., Briesch Jr. D. L., Zimmermann J., "Adsorption of Cu (II) and Zn (II) from water by *Jatropha curcas* L. as biosorbent," *Open Chem Journal*, 14: 103-117, 2016.
7. Wan N. W., Sand Hanafiah M. A., "Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review," *Bioresource Technology*, 99(10): 3935-3948, 2008.
8. Phung Thi Kim Thanh, "Investigation of the adsorption capacity of Cr^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} by modified sugarcane bagasse and treatment environment testing," Ha Noi University of Sciences; VNU, Code: 60 44 41, 2011.