

NGHIÊN CỨU HẤP PHỤ XANH METYLEN TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC BẰNG THAN HOẠT TÍNH CHẾ TẠO TỪ VỎ QUẢ SÀU RIÊNG

Đến tòa soạn 20-03-2023

Đỗ Trà Hương^{1*}, Vũ Văn Như¹, Hà Xuân Linh²

¹Khoa Hóa học - Trường Đại học Sư phạm - Đại học Thái Nguyên,

²Khoa Quốc tế - Đại học Thái Nguyên

*Email: huongdt.chem@tnue.edu.vn

SUMMARY

ADSORPTION OF METHYLENE BLUE FROM AQUEOUS SOLUTION USING ACTIVATED CARBON MADE FROM OF DURIAN PEEL

In this study, activated carbon from durian peel (ACDP) was successfully prepared. The fabricated ACDP had a porous surface with a specific surface area of 348.0017 m²/g and an isoelectric point of 6.03. The ACDP materials were applied for adsorption of methylene blue from aqueous solution using static adsorption method. The effects of pH (3.0 - 10.0), adsorption time (30 - 210 min), the amount of adsorbent (0.01 - 0.125 g), and initial concentration of methylene blue (50 - 500 mg/L) on the adsorption were investigated. The optimum condition was found at pH = 7.0, at adsorption time of 90 min. The maximum monolayer adsorption capacity of ACDP was 57.47 mg/g. The prepared ACDP therefore could act as a promising adsorbent for the removal of methylene blue from aqueous solution.

Keywords: Adsorption, Durian shell, Activated carbon, Methylene blue, Aqueous solution.

1. MỞ ĐẦU

Xanh metylen (MB) là một loại thuốc nhuộm được sử dụng khá phổ biến trong công nghiệp dệt nhuộm, thường được sử dụng trực tiếp để nhuộm màu vải, vải sợi bông hay để nhuộm giấy, nhuộm các sản phẩm từ tre, nứa, mảnh trúc, da và chế mực viết. MB có thể gây các bệnh về mắt, da, đường hô hấp và đường tiêu hóa và thậm chí gây ung thư. Nồng độ MB trong nước quá cao sẽ cản trở sự hấp thụ oxy vào nước từ không khí, từ đó làm cản trở sự sinh trưởng của các động thực vật, gây xáo trộn hoạt động của các vi sinh vật và ảnh hưởng đến quá trình tự làm sạch của nước [1-3]. Để giải quyết các vấn đề này, các phương pháp khác nhau đã được sử dụng cho việc xử lý màu của nước thải dệt nhuộm thông qua việc tách các thuốc nhuộm, trong đó có MB, ra khỏi nước thải

trước khi đưa ra môi trường nước. Các phương pháp thường được sử dụng là hóa học và hóa lý truyền thống như trung hòa điều chỉnh pH, đông keo tụ, oxy hóa... Tuy nhiên, các phương pháp trên rất khó vận dụng, yêu cầu chi phí đầu tư cao và hóa chất đắt tiền. Một trong những hướng đi ưu tiên, gần đây được nhiều nhà khoa học cả trong và ngoài nước quan tâm là xử lý màu của nước thải dệt nhuộm bằng các vật liệu hấp phụ giá thành thấp, thân thiện với môi trường được chế tạo từ vật liệu phế thải trong các hoạt động công nghiệp và nông nghiệp như bã chè [17], lá Neem [5], vỏ trấu [6,8,18], vỏ măng cụt [4,12,12,19]. Ưu điểm chính của nó là nguồn cung cấp vật liệu phong phú, dễ điều chế, không đắt tiền, thân thiện với môi trường.

Cây sấu riêng được trồng nhiều ở Thái Lan, Malaysia, Indonesia, Việt Nam, Mianma, Philippin, Campuchia, Lào, ngoài ra còn trồng ở Ấn Độ, Srilanka, Brunay. Vỏ sấu riêng là phần bỏ đi từ quả sấu riêng. Trong một quả sấu riêng phần vỏ quả chiếm tới 70- 85% khối lượng quả. Trong vỏ quả sấu riêng có ba thành phần cơ bản là xenlulozơ (30,92%); hemixenlulozơ (17,99%) và lignin (7,69%). Do đó vỏ sấu riêng là nguyên liệu tiềm năng để chế tạo và nghiên cứu vật liệu hấp phụ các ion kim loại, phẩm nhuộm, thuốc kháng sinh trong môi trường nước. Hiện nay, số lượng các công trình công bố về than hoạt tính chế tạo từ vỏ sấu riêng trong nước và trên thế giới còn tương đối hạn chế [7,9-11,16,20], đồng thời chưa có công trình nghiên cứu chế tạo than hoạt tính từ vỏ sấu riêng hoạt hóa bằng axit H_2SO_4 . Chính vì vậy, trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu khả năng hấp phụ MB của than hoạt tính được chế tạo từ vỏ sấu riêng.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Chế tạo than hoạt tính từ vỏ sấu riêng

Vỏ sấu riêng khi lấy về được rửa sạch bằng nước máy và nước cất nhiều lần để loại bỏ tất cả các hạt bụi bẩn, sau đó được đặt trong lò nung (Carbolite Sheffield, Anh, LMF4) nung ở nhiệt độ $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 2 giờ. Trong điều kiện thiếu oxy như vậy, vật liệu bị phân hủy nhiệt thành vật liệu carbonate xốp và các hợp chất hydrocarbon. Sau đó mẫu được lấy ra làm nguội đến nhiệt độ phòng, rửa bằng nước cất cho đến khi pH bằng 7. Mẫu sau đó được sấy khô ở nhiệt độ $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến khối lượng không đổi, nghiền nhỏ, rây đến kích thước $d \leq 1\text{ mm}$. Mẫu vật liệu vỏ sấu riêng hoạt hóa vật lý được kí hiệu là DS.

Cân 10 g vật liệu DS cho vào cốc có 150 mL axit H_2SO_4 0,1 M để trong 24 giờ. Vật liệu sau khi được hoạt hóa bằng axit được rửa sạch bằng nước cất hai lần cho đến khi giá trị pH nằm trong khoảng từ 6,5 - 7,0. Sau đó được sấy khô ở $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ cho đến khối lượng không đổi. Than hoạt tính chế tạo từ vỏ sấu riêng sau khi hoạt hóa axit được kí hiệu là ACDP. Chúng được bảo quản trong lọ kín, để trong bình hút ẩm và được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

2.2. Khảo sát đặc điểm bề mặt, cấu trúc và thành phần hóa học của vật liệu DS và ACDP

Hình thái học của vật liệu DS, ACDP được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM), thành phần của vật liệu ACDP được xác định bằng phương pháp phổ tán xạ năng lượng (EDS). Các nhóm chức bề mặt của vật liệu ACDP được phân tích bằng phổ hồng ngoại (FT- IR). Diện tích bề mặt riêng vật liệu ACDP được xác định bằng phương pháp BET. Các phép đo SEM, EDS được thực hiện tại Viện Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Quang phổ hồng ngoại FT-IR được đo tại Khoa Hóa học - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội. Diện tích bề mặt riêng BET được đo tại Khoa Hóa học - Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

2.3. Nghiên cứu khả năng hấp phụ MB của vật liệu ACDP

Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ MB được tiến hành khảo sát là: pH dung dịch, thời gian, khối lượng ACDP, nồng độ MB ban đầu, nhiệt độ. Để đảm bảo tính lặp lại, mỗi thí nghiệm đều được thực hiện ít nhất 3 lần trong cùng điều kiện. Kết quả là trung bình của 3 lần thí nghiệm.

Ảnh hưởng của pH: Cho vào mỗi bình 0,05 g ACDP và 20 mL dung dịch MB có nồng độ đầu trung bình dao động từ 47,114 mg/L đến 52,831 mg/L, có pH được điều chỉnh từ 3 đến 10 bởi dung dịch HNO_3 hoặc NaOH. Tiến hành lắc hỗn hợp trên máy lắc trong 90 phút với tốc độ 300 vòng/phút ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$).

Ảnh hưởng của thời gian: Cân 0,05 g ACDP cho vào bình tam giác có dung tích 100 mL, cho tiếp vào bình tam giác 20 mL dung dịch MB có nồng độ trung bình là: 54,91 mg/L, 84,65 mg/L, 112,40 mg/L. Các dung dịch trên được điều chỉnh về pH = 7. Tiến hành lắc hỗn hợp trong khoảng thời gian 30, 60, 90, 120, 150, 180 và 210 phút với tốc độ 300 vòng/phút ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$).

Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu ACDP: Cân ACDP cho vào bình tam giác có dung tích 100 mL với khối lượng thay đổi từ 0,01 – 0,125 g ACDP, cho tiếp vào bình tam giác 20 mL dung dịch MB có nồng độ 53,26 mg/L. Các dung dịch trên được điều chỉnh về pH = 7. Tiến hành lắc hỗn hợp trong

90 phút với tốc độ 300 vòng/phút ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^\circ\text{C}$).

Ảnh hưởng của nồng độ MB ban đầu: Cho vào mỗi bình tam giác 0,05 g ACDP và 20 mL dung dịch MB có nồng độ đầu trung bình thay đổi: 54,91 mg/L; 84,65 mg/L; 112,40 mg/L; 152,82 mg/L; 187,53 mg/L; 208,33 mg/L; 219,18 mg/L; 245,84 mg/L; 294,05 mg/L; 355,02 mg/L; 398,09 mg/L; 499,16 mg/L. Các dung dịch trên được điều chỉnh về pH = 7 bằng dung dịch HNO_3 . Tiến hành lắc hỗn hợp trong 90 phút với tốc độ 300 vòng/phút ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^\circ\text{C}$).

Nồng độ của MB trước và sau khi hấp phụ bằng vật liệu ACDP được xác định bằng phương pháp phổ hấp thụ tử ngoại - khả kiến đo trên máy Hitachi UH5300 tại Trường Đại học Y dược - Đại học Thái Nguyên, tại bước sóng $\lambda = 665 \text{ nm}$, khoảng nồng độ xây dựng đường chuẩn từ 2-15 mg/L, phương trình đường chuẩn là $y = 0,1509x + 0,0371$.

Hiệu suất hấp phụ MB được tính theo công thức:

$$H \% = \frac{(C_0 - C_{cb})}{C_0} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Trong đó: H là hiệu suất hấp phụ (%); C_0 là nồng độ dung dịch MB ban đầu (mg/L), C_{cb} là nồng độ dung dịch MB sau khi được hấp phụ bởi vật liệu ACDP (mg/L).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

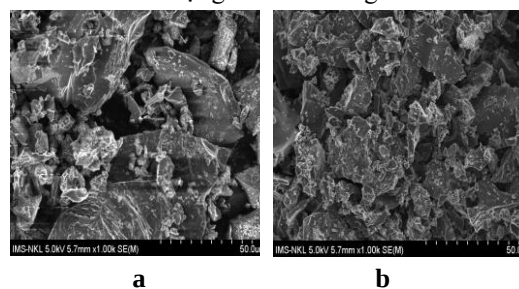
3.1. Khảo sát tính chất vật lý và đặc điểm bề mặt của vật liệu DS và ACDP

Kết quả chụp ảnh SEM của vật liệu DS và ACDP được trình bày trong Hình 1 và Hình 2.

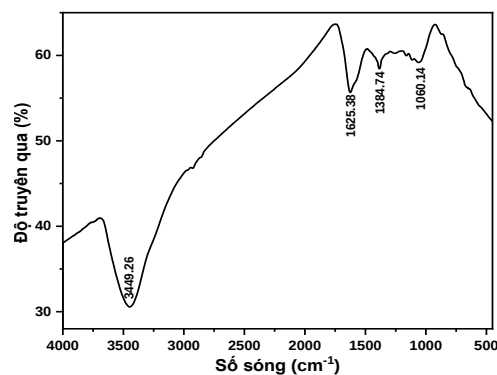
Từ Hình 1 có thể nhận thấy rằng carbon hoạt tính điều chế từ vỏ sầu riêng sau khi được hoạt hóa bằng H_2SO_4 đã có hình thái học bề mặt thay đổi rõ rệt so với khi chưa hoạt hóa. Cụ thể, trước khi hoạt hóa (Hình 1a), vỏ sầu riêng có bề mặt nhẵn, thô và kém xốp. Ngược lại, sau khi được hoạt hóa bằng H_2SO_4 (Hình 1b), vật liệu đã hình thành các ống mao quản, tạo nên nhiều khoảng trống và tăng độ xốp trên bề mặt. Điều này hứa hẹn mang lại tiềm năng ứng dụng làm chất hấp phụ của vật liệu ACDP tốt hơn vật liệu DS. Sự cải thiện về đặc điểm bề mặt của vật liệu ACDP có thể được giải thích là do quá trình kích hoạt bằng H_2SO_4 đã làm tăng tốc độ quá trình đốt cháy carbon, phá vỡ các lignocellulose trong vỏ

sầu riêng kèm theo sự phân hủy của các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi dưới dạng CO và CO_2 , từ đó hình thành các lỗ và làm xốp bề mặt mẫu.

Kết quả phân tích phổ tán xạ năng lượng EDS của vật liệu ACDP được chỉ ra trong Bảng 1. Các kết quả cho thấy vật liệu ACDP có hàm lượng carbon cao, chiếm 82,05% theo khối lượng và 87,06% theo số nguyên tử. Ngược lại, hàm lượng oxy trong vật liệu này khá thấp, lần lượt là 15,09% và 12,02% tính theo khối lượng và theo số nguyên tử tương ứng. So với than hoạt tính chế tạo từ vỏ măng cụt hoạt hóa bằng ZnCl_2 có hàm lượng carbon là 68,81% [19], thì than ACDP có hàm lượng carbon tương đối lớn.



Hình 1. Ảnh SEM của vật liệu DS (a) và của vật liệu ACDP (b)



Hình 2. Phổ hồng ngoại FT-IR của vật liệu ACDP

Các nhóm chức trên bề mặt của vật liệu ACDP được kiểm tra thông qua chụp phổ hồng ngoại FT-IR trên Hình 2. Kết quả cho thấy có vân phổ rộng ở $3449,26 \text{ cm}^{-1}$ đại diện cho nhóm -OH, vân phổ tại tần số $1625,38 \text{ cm}^{-1}$ được gán cho nhóm carbonyl $\text{C}=\text{O}$. Sự hấp thụ hồng ngoại của nhóm CH_3 đối xứng được chỉ ra tại vân phổ $1384,74 \text{ cm}^{-1}$, vân phổ tại $1060,14 \text{ cm}^{-1}$ có thể là dao động của liên kết C-O của nhóm axit cacboxylic ($-\text{COOH}$)

[10]. Kết quả phân tích phổ hồng ngoại FT-IR phù hợp với kết quả phân tích EDS khi thành phần chính của vật liệu là C và O. Vật liệu ACDP có diện tích bề mặt riêng là **348 m²/g**. Các kết quả phân tích EDX và FT-IR cho thấy than hoạt tính ACDP có tiềm năng là chất hấp phụ tốt

Bảng 1. Kết quả phân tích EDS vật liệu ACDP

Nguyên tố	% khối lượng	% số nguyên tử
C	82,08	87,06
O	15,09	12,02
Cl	0,17	0,06
K	2,66	0,87
Tổng cộng	100,00	100,00

2.5. Xác định điểm đẳng điện của vật liệu ACDP

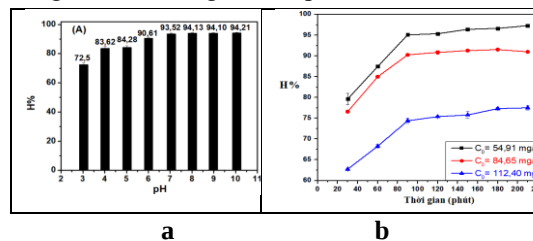
Chuẩn bị các dung dịch NaCl 0,1 M có pH ban đầu (pH_i) đã được điều chỉnh tăng dần từ 1 đến 10. Lấy 9 bình nón có dung tích 100 mL, cho vào mỗi bình 0,05 g vật liệu ACDP, sau đó cho lần lượt vào các bình nón 100 mL dung dịch có pH_i tăng dần đã chuẩn bị sẵn ở trên. Để yên trong vòng 48 h, sau đó đem lọc lấy dung dịch và xác định lại pH (pH_f) của các dung dịch trên. Sự chênh lệch giữa pH ban đầu (pH_i) và pH cân bằng (pH_f) là $\Delta pH = pH_i - pH_f$, vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của ΔpH vào pH_i , điểm giao nhau của đường cong với tọa độ mà tại đó giá trị $\Delta pH = 0$ cho ta điểm đẳng điện cần xác định. Kết quả đã xác định được điểm đẳng điện (pH_{pzc}) của ACDP là $pH_{pzc} = 6,03$.

2.8. Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ MB của ACDP theo phương pháp hấp phụ tĩnh

2.8.1. Ảnh hưởng của pH

Từ Hình 3a, có thể thấy rằng khi pH tăng thì hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ đều tăng, đặc biệt trong khoảng pH từ 3 ÷ 7. Điều này có thể giải thích là do ở giá trị $pH < pH_{pzc}$ bề mặt vật liệu ACDP tích điện dương do có sự hấp phụ ion H^+ , dẫn tới xuất hiện lực đẩy giữa thuốc nhuộm cation MB và bề mặt chất hấp phụ. Ngoài ra, ở pH thấp, nồng độ của H^+ lớn, xảy ra sự hấp phụ cạnh tranh của H^+ với cation MB tại các trung tâm hấp phụ. Do đó, ở pH thấp, hiệu suất hấp phụ thấp. Ở $pH > pH_{pzc}$ bề mặt vật liệu ACDP tích điện âm do hấp

phụ các ion OH^- , làm xuất hiện lực hút tĩnh điện giữa ACDP mang điện tích âm và thuốc nhuộm MB mang điện tích dương, mang lại hiệu suất hấp phụ lớn. Do vậy, pH hấp phụ tốt nhất đối với dung dịch MB được lựa chọn là **pH = 7** và giá trị này được sử dụng cho các thí nghiệm tiếp theo.



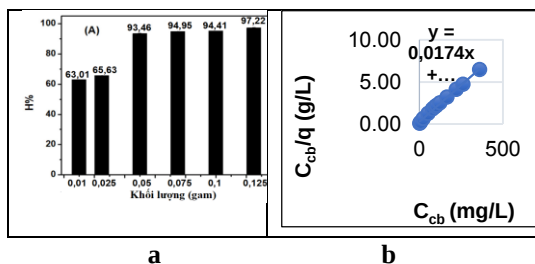
Hình 3. Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của pH đến quá trình hấp phụ MB của vật liệu ACDP (a) và Sự phụ thuộc của hiệu suất hấp phụ MB vào thời gian (b)

2.8.2. Khảo sát thời gian đạt cân bằng hấp phụ

Từ kết quả thu được trên Hình 3b, ta thấy các đường đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của hiệu suất hấp phụ MB vào thời gian khi khảo sát ở những nồng độ khác nhau đều cho dáng điệu đồ thị như nhau. Cụ thể, hiệu suất hấp phụ tăng tương đối nhanh và gần như tuyến tính trong khoảng thời gian từ 30 - 90 phút, sau đó dần ổn định trong khoảng thời gian từ 90 - 210 phút. Do vậy, thời gian đạt cân bằng hấp phụ là **90 phút**. Kết quả này được sử dụng cho các thí nghiệm tiếp theo.

2.8.3. Khảo sát ảnh hưởng của khối lượng ACDP đến khả năng hấp phụ MB

Từ Hình 4a ta thấy khi tăng khối lượng ACDP, hiệu suất hấp phụ MB tăng. Điều này có thể lí giải là do sự tăng lên của diện tích bề mặt và sự tăng lên của số vị trí các tâm hấp phụ. Mặc dù vậy, dung lượng hấp phụ lại giảm do dung lượng hấp phụ tỉ lệ nghịch với khối lượng. Trong khoảng khối lượng ACDP từ 0,05 - 0,125 g, hiệu suất hấp phụ tăng không nhiều (từ 93,46 - 97,22%). Vì vậy, khối lượng ACDP bằng 0,05 g hay tỷ lệ khối lượng / thể tích là **2,5 g/L** được lựa chọn là điều kiện tối ưu cho các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 4. Sự phụ thuộc hiệu suất hấp phụ MB vào khối lượng chất hấp phụ (a) và sự phụ thuộc của C_{cb}/q vào C_{cb} đối với sự hấp phụ MB (b)

Từ các số liệu thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ đã được phân tích với mô hình đẳng nhiệt Langmuir (Hình 4b). Từ Hình 4b, có thể thấy rằng sự hấp phụ MB của vật liệu ACDP được mô tả tốt theo mô hình Langmuir với hệ số hồi quy tuyến tính cao $R^2 = 0,9858$. Dung lượng hấp phụ cực đại được xác định $q_{\max} = 57,47$ mg/g và hằng số $b = 0,062$ (L/g).

Bảng 2: Dung lượng hấp phụ MB cực đại ($q_{\max}$) của vật liệu ACDP và một số loại than hoạt tính chế tạo từ sinh khối thực vật

STT	Vật liệu hấp phụ	Dung lượng hấp phụ (mg/g)	TLTK
1	Bột lá Neem	58,6	[5]
2	Bã chè	85,16	[17]
3	Mùn cưa	13,02	[15]
4	Vỏ trấu	40,58	[8]
5	Hạt và vỏ quả sầu riêng	90,90	[16]
6	Tro trấu	8,59	[18]
7	Lá cây chùm ngây	136,99	[14]
8	Vỏ quả sầu riêng	57,47	Công trình này

Kết quả so sánh dung lượng hấp phụ MB trên các vật liệu có nguồn gốc thực vật (Bảng 2) cho thấy dung lượng hấp phụ cực đại ($q_{\max}$) của vật liệu ACDP đối với MB là thuộc dạng tương đối cao. Tuy nhiên, so sánh với than hoạt tính chế tạo từ lá cây chùm ngây cũng hoạt hóa bằng H_2SO_4 thì dung lượng hấp phụ cực đại của vật liệu ACDP nhỏ hơn khá nhiều, có thể do diện tích bề mặt riêng của ACDP vẫn còn nhỏ [11].

4. KẾT LUẬN

Đã chế tạo thành công than hoạt tính từ vỏ sầu riêng (ACDP). Than hoạt tính ACDP chế tạo được có bề mặt xốp, diện tích bề mặt riêng là $348 \text{ m}^2/\text{g}$, điểm đẳng điện bằng 6,03. Khảo sát được một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ MB của vật liệu ACDP theo phương pháp hấp phụ tĩnh cho kết quả: pH hấp phụ tốt nhất đối với MB là 7; Thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 90 phút.; Tỷ lệ khối lượng / thể tích là $2,5 \text{ g} / \text{L}$. Quá trình hấp phụ MB của vật liệu ACDP tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir đã xác định được dung lượng hấp phụ cực đại đối với MB của ACDP là $q_{\max} = 57,47 \text{ mg/g}$.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Zhou et al, (2019). Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: a review. *Environ. Pollut.* **252**, 352–365.
- [2] W. Li, et al, (2019). Feasibility of industrial-scale treatment of dye wastewater via bio-adsorption technology. *Bioresour. Technol.* **277(2)**, 157–170.
- [3] Z. Li, et al, (2020). Adsorption of Congo red and methylene blue dyes on an ashitaba waste and a walnut shell-based activated carbon from aqueous solutions: experiments, characterization and physical interpretations. *Chem. Eng. J.* **388**, 124263.
- [4] P. Kongsune et al, (2021). The removal of Pb^{2+} from aqueous solution using mangosteen peel activated carbon: Isotherm, kinetic, thermodynamic and binding energy calculation. *Groundwater for Sustainable Development*, **12(3)**, 100524.
- [5] S. K. Mustafa et al, (2021). Enhance the adsorption behavior of methylene blue from wastewater by using $ZnCl_2$ modified neem (*Azadirachta indica*) leaves powder. *Desalination and Water Treatment*, **209**, 367.
- [6] T. Hongo et al, (2021). Simultaneous Methylene Blue Adsorption and pH Neutralization of Contaminated Water by Rice Husk Ash. *ACS Omega*, **6(33)**, 21604–21612.

- [7] T. C. Chandr et al, (2009). Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **40(4)**, 457- 462.
- [8] V Vadivelan et al, (2005). Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk. *J Colloid Interface Sci*, **286(1)**, 90-100.
- [9] Y. Gopalakrishnan, et al, (2020). Removal of Basic Brown 16 from Aqueous Solution Using Durian Shell Adsorbent. *Optimisation and Techno-Economic Analysis Sustainability*, **12(21)**, 8928.
- [10] Y. Zhan et al, (2021). Chemical constituents and pharmacological effects of durian shells in ASEAN countries: A review. *Chinese Herbal Medicines*, **13(4)** , 461-471.
- [11] Yuliusman et al, (2020). Utilization of durian shell waste in the preparation of activated carbon by using K_2CO_3 as chemical activator. *The 4th International Tropical Renewable Energy Conference (i-TREC 2019) AIP Conf. Proc.* 2255, 060027-1–060027-6.
- [12] Z. A. Hanami et al, (2021). Characterization and Application of Mangosteen Peel Activated Carbon for Ammonia Gas Removal. *Environment and Natural Resources Journal*, **19(4)**, 320-329.
- [13] Z. Zhang et al, (2021). Efficient removal of methylene blue using the mesoporous activated carbon obtained from mangosteen peel wastes: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Microporous and Mesoporous Materials*, **315**, 110904.
- [14] D.T. Huong et al, (2021). Study on methylene blue adsorption of activated carbon made from moringa oleifera leaf. *Material Today Proceedings*, **38(5)**, 3405-3413.
- [15] F A Batzias et al, (2004). Dye adsorption by calcium chloride treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems. *J Hazard Mater*, 18, **114(1-3)**, 167-74.
- [16] H. Sudrajat et al, (2021). Mechanistic insights into the adsorption of methylene blue by particulate durian peel waste in water. *Water Sci Technol*, **84(7)**, 1774–1792.
- [17] Md. T. Uddin, et al, (2009). Adsorptive removal of methylene blue by tea waste. *Journal of Hazardous Materials*, **164(1)**, 53–60.
- [18] Teruhisa Hongo et al, (2021). Simultaneous Methylene Blue Adsorption and pH Neutralization of Contaminated Water by Rice Husk Ash. *ACS Omega*, **6(33)**, 21604–21612.
- [19] Đỗ Trà Hương, Doãn Văn Kiệt, (2022). Nghiên cứu khả năng hấp phụ ciprofloxacin trong môi trường nước của than hoạt tính chế tạo từ vỏ măng cụt. *Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, **27(3)**, 170- 178.
- [20] Erny Haslina et al, (2014). Methylene Blue Dye Adsorption to Durian Shell Activated Carbon, *Key Engineering Materials*, **594-595**, 350-355.