

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG SỢI XƠ DỪA ĐẾN TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE NỀN EPOXY EPIKOTE 828

EFFECT OF COIR FIBER CONTENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY EPIKOTE 828

Đặng Hữu Trung^{1,*}, Phạm Thị Mai Hương¹,
Nguyễn Thế Hữu¹, Nguyễn Tuấn Anh¹, Bùi Thị Thu Trang¹

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2025.205>

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này đã khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng sợi xơ dừa ở các hàm lượng 0, 3, 6 và 9% khối lượng (KL) đến tính chất nhiệt, độ bền kéo, độ bền va đập và hình thái cấu trúc của vật liệu composite trên cơ sở nền nhựa epoxy, đóng rắn bằng cyanethyl-diethylenetriamine (CEDETA). Kết quả cho thấy với hàm lượng 9% KL sợi xơ dừa gia cường cho tính chất cơ học tốt nhất, độ bền kéo tăng từ 34,5MPa lên 41,8MPa (tăng 21,1%) và độ bền va đập tăng từ 3,9 đến 6,5kJ/m² (tăng 66,6%). Hình thái cấu trúc và khả năng chịu nhiệt của vật liệu composite được đánh giá bằng hiển vi điện tử quét (SEM) và phân tích nhiệt trọng lượng (TGA). Kết quả cho thấy ở mẫu không gia cường sợi xơ dừa cho bề mặt phá hủy mẫu nhẵn và phẳng thể hiện phá hủy giòn. Trong khi đó ở các mẫu gia cường sợi xơ dừa cho bề mặt đứt gãy gồ ghề và lộ rõ cấu trúc tổ hợp sợi nhựa. Qua đó cho thấy với sự có mặt của sợi xơ dừa làm chất gia cường dẫn đến cấu trúc tổ hợp vật liệu composite có cấu trúc bền vững và chặt chẽ hơn.

Từ khóa: Nhựa epoxy, vật liệu composite, tính chất cơ học, sợi xơ dừa.

ABSTRACT

This study investigated the effect of coir fiber content (0, 3, 6, and 9 wt%) on the thermal properties, tensile strength, izod impact strength, and structural morphology of epoxy resin composites cured with cyanethyl-diethylenetriamine (CEDETA). Optimal mechanical properties were achieved with 9 wt% coir fiber, resulting in a 21.1% increase in tensile strength (from 34.5MPa to 41.8MPa) and a 66.6% increase in impact strength (from 3.9 to 6.5kJ/m²). Scanning electron microscopy (SEM) and thermogravimetric analysis (TGA) were used to evaluate the composite materials' structural morphology and thermal resistance. SEM analysis showed a smooth fracture surface in the unreinforced composite, suggesting brittle failure, while coir-reinforced composites displayed rough fracture surfaces revealing the fiber-matrix structure. These results demonstrate that incorporating coir fiber creates a stronger, more cohesive composite material.

Keywords: Epoxy resin, composite material, mechanical properties, coir fiber.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: huutrong@hauai.edu.vn

Ngày nhận bài: 27/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. MỞ ĐẦU

Ô nhiễm môi trường do nhựa thải gây ra ngày càng trầm trọng, chúng có thể phân hủy thành các kích thước từ micro đến nano dễ phát tán vào môi trường không

khí, nước và đất. Để giảm thiểu ô nhiễm môi trường cần có nhiều giải pháp đồng bộ như giảm thiểu việc sử dụng các loại vật liệu có nguồn gốc từ nhựa, tái chế và tái sử dụng [1, 2]. Một giải pháp hiện nay được các nhà khoa

học trong và ngoài nước quan tâm nhằm giảm thiểu phát thải ô nhiễm nhựa ra môi trường là nghiên cứu chế tạo vật liệu xanh, vật liệu thân thiện với môi trường có nguồn gốc từ thực vật do chúng có nhiều ưu điểm như nhẹ, cách âm tốt và đặc biệt có khả năng phân hủy sinh học [3-6]. M. Boopalan và nhóm nghiên cứu [7] đã so sánh các tính chất cơ học và nhiệt của vật liệu composite trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng sợi đay thô và sợi chuối. Vật liệu composite được chế tạo theo phương pháp đúc với nhựa nền epoxy, sử dụng sợi gia cường đay/ chuối theo các tỷ lệ 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 và 0/100 phần khối lượng. Kết quả cho thấy việc bổ sung sợi đay/chuối ở tỷ lệ 50% vào vật liệu composite cho tính chất cơ học và nhiệt tốt nhất.

Sợi xơ mướp trước khi gia cường cho nhựa epoxy được xử lý bề mặt bằng 8% NaOH. Vật liệu composite trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng xơ sợi mướp được chế tạo ở các hàm lượng 2, 4 và 6% kết hợp với 10% xơ mướp dạng hạt (particles) không thay đổi cho các tỷ lệ trên. Kết quả cho thấy ở mẫu sử dụng 4% sợi xơ mướp kết hợp với 10% xơ sợi mướp dạng hạt cho độ bền cơ học tốt nhất với độ bền kéo đạt 13,489MPa và độ bền uốn đạt 20,3MPa [8]. Độ bền dai phá hủy của vật liệu composite trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng sợi tre dưới dạng kích thước micro/nano cũng được Phong NT và cộng sự [9] triển khai nghiên cứu. Kết quả cho thấy việc bổ sung 0,8% khối lượng vi sợi tre đã làm tăng độ bền dai phá hủy của vật liệu composite lên 84,6% so với nhựa epoxy chưa biến tính. Đồng thời độ bền mỏi của composite ở hàm lượng 0,8% vi sợi tre gia cường đã cải thiện từ 12 đến 25 lần so với vật liệu composite không biến tính.

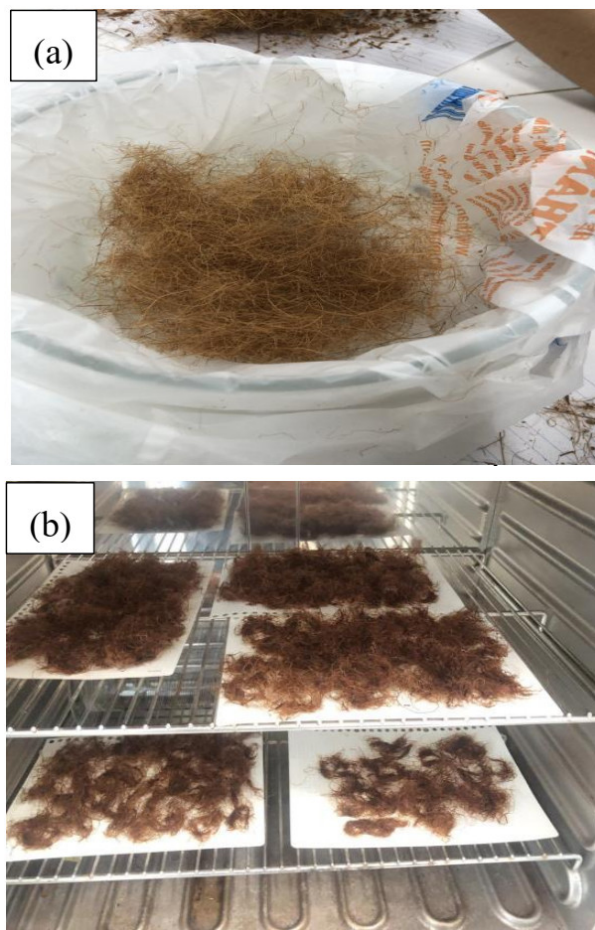
Nghiên cứu về các loại sợi gia cường có nguồn gốc từ thực vật cho thấy chúng có nhiều ưu điểm như chi phí thấp, thân thiện với môi trường và có khả năng phân hủy sinh học. Bên cạnh những ưu điểm này thì vật liệu composite gia cường sợi tự nhiên có nhược điểm là làm tăng khả năng hấp thụ nước. Việc sử dụng NaOH nhằm xử lý và làm sạch bề mặt sợi đã làm tăng tính chất cơ học và làm giảm khả năng hấp thụ nước một cách đáng kể [10, 11]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng sợi xơ dừa dạng ngắn ở Bến Tre làm chất gia cường cho nhựa epoxy ở các hàm lượng khác nhau để chế tạo vật liệu composite, sử dụng chất khâu mạch xyanethyldietylenetriamin (CEDETA) nhằm mục đích cải thiện tính chất cơ học, đồng thời nghiên cứu về hình thái cấu trúc bề mặt phá hủy và mức độ ứng xử nhiệt của mẫu vật liệu composite.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất - Thiết bị

- Nhựa epoxy Epikote 828 (Shell Chemicals) có khối lượng riêng ở 25°C là 1,16, hàm lượng nhóm epoxy 22,63%, độ nhớt 12 - 14Pa.s ở 25°C.
- Sợi xơ dừa tách từ vỏ của quả dừa khô sau thu hoạch và được cấp bởi Công ty Cổ phần COCO HITECH (Bến Tre).
- Chất đóng rắn Cyanethyl-diethylenetriamine (CEDETA) được tổng hợp từ diethylenetriamine (DETA) và acrylonitrile (AN).
- NaOH (Merck) có độ tinh khiết > 99%, khối lượng mol phân tử 40 g/mol, khối lượng riêng 2,13g/cm³.
- Khuôn thép tạo mẫu, tủ sấy, bơm hút chân không, máy cắt mẫu và máy khuấy cơ học VELP (Ý).

2.2. Chế tạo vật liệu composite



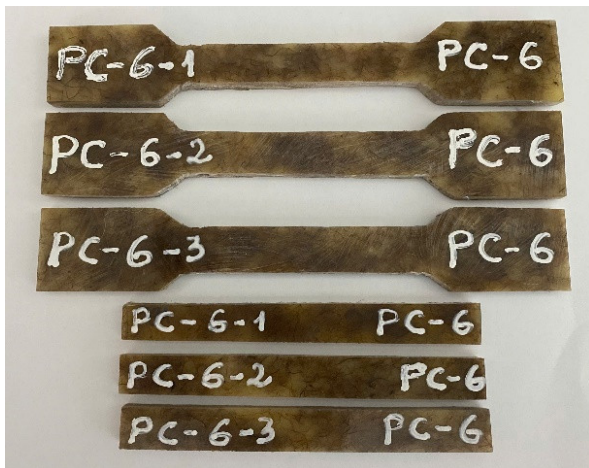
Hình 1. Sợi xơ dừa trước khi xử lý kiềm (hình 1a) và sợi xơ dừa sấy khô sau khi xử lý kiềm

Sợi dừa khô được nhóm nghiên cứu tiếp tục kiểm tra, phân loại, tách các tạp chất dính kèm như mụn dừa, các loại sợi thô và các loại tạp chất khác. Sau đó được xử lý kiềm với nồng độ 6%NaOH trong thời gian 6h ở nhiệt độ

70°C [11]. Sợi sau xử lý kiểm được rửa với nước sạch cho đến trung tính rồi sấy khô ở nhiệt độ 80° cho đến khối lượng không đổi và được cắt thành các sợi có chiều dài 5cm (hình 1).

Sợi xơ dừa dùng làm chất gia cường cho nhựa epoxy được xếp ngẫu nhiên theo các tỷ lệ 0, 3, 6 và 9% KL so với nhựa epoxy. Lượng chất đóng rắn CEDETA được thêm vào nhựa epoxy theo tỷ lệ nhựa epoxy/CEDETA = 100/26 phần khối lượng [5].

Hỗn hợp nhựa và chất đóng rắn được khuấy trong thời gian 3 phút ở tốc độ 300 vòng/phút trên máy khuấy cơ học VELP. Tiếp đến hỗn hợp nhựa được tẩm lên bề mặt sợi rồi lăn ép bằng tay nhằm đuổi hết bọt khí để tạo tấm mẫu composite phẳng đều và tránh các khuyết tật tồn tại trong mẫu. Sau một tuần, tấm mẫu composite đóng rắn hoàn toàn và ổn định được cắt theo các tiêu chuẩn nhằm xác định các tính chất cơ học (hình 2).



Hình 2. Mẫu composite trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng sợi xơ dừa

Tỷ lệ thành phần các cấu tử của vật liệu composite trên cơ sở nhựa epoxy, gia cường bằng xơ sợi dừa được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần các cấu tử trong vật liệu composite

TT	Tên mẫu	Sợi xơ dừa (% kl)	Nhựa epoxy (% kl)
1	CP-0	0	100
2	CP-3	3	97
3	CP-6	6	94
4	CP-9	9	91

2.3. Phân tích nhiệt trọng lượng (TGA)

Đánh giá mức độ ứng xử nhiệt của mẫu composite bằng phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng TGA và được thực hiện trên máy LINSEIS (Đức). Mẫu được đựng trong chén platin, gia nhiệt với tốc độ 10°C/phút trong môi trường không khí từ nhiệt độ phòng đến 600°C.

2.4. Tính chất cơ học

Tính chất cơ học của mẫu composite được xác định theo các tiêu chuẩn quy định và thực hiện trên các thiết bị hiện đại. Cụ thể độ bền kéo đứt của mẫu composite được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D638 trên thiết bị Shimadzu AGX-50kNVD (Nhật Bản). Độ bền va đập của mẫu composite được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D256 trên thiết bị Charpy 402D-Z2 Testresources (Mỹ).

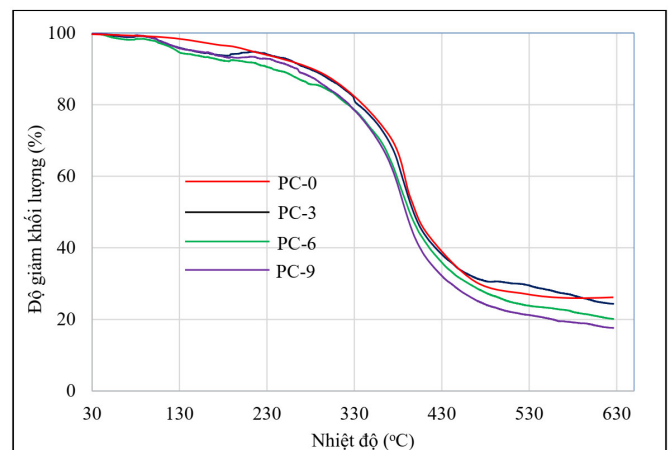
2.5. Hiển vi điện tử quét (SEM)

Bề mặt phá hủy của mẫu composite gia cường bằng sợi xơ dừa được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) JEOL 6490 (Nhật Bản). Mẫu composite trước khi quan sát bằng ảnh SEM chúng được phủ bằng lớp mỏng Pt nhằm tránh hiện tượng tích điện trên bề mặt mẫu.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng hàm lượng sợi xơ dừa đến tính chất nhiệt của composite

Đã xác định tính chất nhiệt TGA của các mẫu composite trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng sợi xơ dừa với các hàm lượng 0, 3, 6 và 9% KL, kết quả nhận được trình bày trên hình 3.



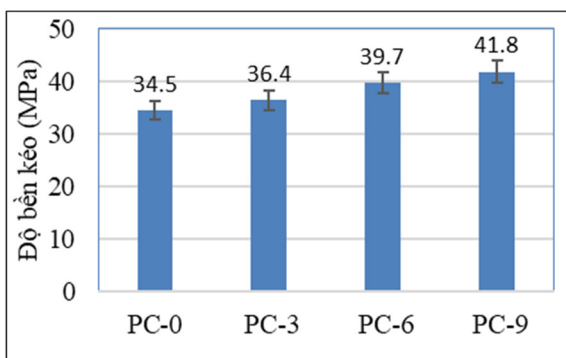
Hình 3. Tính chất nhiệt TGA của vật liệu composite

Kết quả trên hình 3 cho thấy, không có sự khác biệt lớn về tính chất nhiệt của các mẫu composite gia cường bằng sợi xơ dừa ở các hàm lượng 0, 3, 6 và 9%. Giai đoạn phân hủy nhiệt cực đại < 300°C được cho là sự mất nước, phân hủy hemicellulose và sự phân cắt liên kết glycoside trong sợi cellulose [7, 12] nên ở các mẫu có chứa sợi xơ dừa gia cường (PC-3, PC-6 và PC-9) có khả năng phân hủy nhiệt lớn hơn (các đường nhiệt nằm phía dưới trục hoành) và được thể hiện rõ trên đồ thị ở nhiệt độ trong khoảng từ 100°C đến 200°C. Giai đoạn phân hủy nhiệt cực đại trong khoảng 380°C được cho là quá trình phân hủy của nhựa epoxy [7]. Trên đường cong nhiệt cho thấy ở mẫu không

chứa sợi xơ dừa gia cường (PC-0) chúng nằm phía trên cùng của trục hoành, còn các mẫu có chứa hàm lượng sợi ở 3% (PC-3), 6% (PC-6) và 9% (PC-9) có xu hướng dịch xuống phía dưới trục hoành. Điều này cho thấy hàm lượng sợi xơ dừa gia cường càng tăng thì khả năng phân hủy nhiệt càng lớn, dẫn đến mức độ chịu nhiệt của vật liệu càng giảm. Các kết quả nghiên cứu về tính chất nhiệt nhận được hoàn toàn phù hợp với các công trình nghiên cứu trước đây về vật liệu composite gia cường bằng sợi thực vật [7, 12].

3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng hàm lượng sợi xơ dừa đến độ bền kéo của composite

Các nghiên cứu về sợi cellulose gia cường cho nhựa epoxy đều cho kết quả chung là làm tăng được độ bền kéo của vật liệu composite [5, 13]. Trong khi đó nhóm tác giả Nguyễn Đình Lâm và cộng sự [14] đã chế tạo vật liệu composite trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng sợi xơ dừa ở hàm lượng 25% KL để xác định độ bền kéo lại cho kết quả khác biệt. Kết quả cho thấy các tính chất cơ học như độ bền kéo và độ bền uốn của composite gia cường bằng sợi xơ dừa đều giảm. Xảy ra điều này có thể là do nguyên liệu sợi xơ dừa trước khi đưa vào dùng làm vật liệu gia cường không được xử lý bề mặt nên làm giảm khả năng bám dính giữa sợi và nhựa nền, đồng thời hàm lượng sợi gia cường lớn dễ xảy ra các khuyết tật bên trong mẫu composite. Thấy được những nhược điểm trên, nhóm nghiên cứu đã triển khai xử lý bề mặt sợi trước khi gia cường bằng NaOH, đồng thời sử dụng sợi gia cường với một hàm lượng nhỏ hơn. Đã xác định độ bền kéo của vật liệu composite gia cường bằng sợi xơ dừa ở các hàm lượng 0, 3, 6 và 9% KL. Giá trị độ bền kéo lấy trung bình của 3 mẫu xác định, kết quả nhận được trình bày trên hình 4.



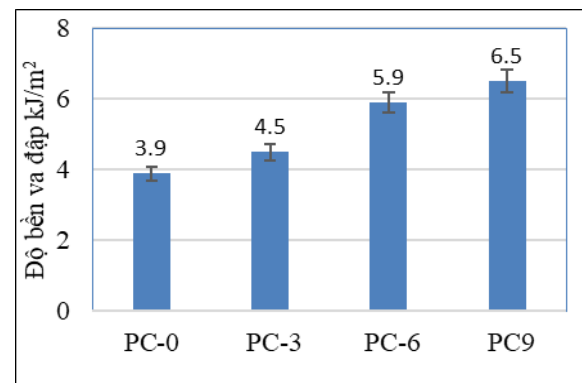
Hình 4. Ảnh hưởng hàm lượng sợi xơ dừa đến tính chất cơ học của composite

Kết quả trên hình 4 cho thấy, hàm lượng sợi gia cường ảnh hưởng đáng kể đến độ bền kéo của vật liệu composite, lượng sợi gia cường càng tăng thì độ bền kéo

tăng tương ứng. Khi tăng lượng sợi gia cường từ 0 lên 6% độ bền kéo tăng tương ứng từ 34,5MPa lên 39,7MPa (tăng 15%). Nếu tiếp tục tăng hàm lượng sợi xơ dừa gia cường lên 9% KL thì độ bền kéo tăng không nhiều và đạt 41,8MPa. Như vậy, khi sử dụng sợi xơ dừa gia cường cho nhựa epoxy ở hàm lượng 9% KL độ bền kéo tăng từ 34,5MPa lên 41,8MPa (tăng 21,1%).

3.3. Ảnh hưởng hàm lượng sợi xơ dừa đến độ bền va đập của composite

Các nghiên cứu về sợi cellulose gia cường cho nhựa epoxy đều cải thiện được các tính chất cơ học, đặc biệt là độ bền va đập [5,15]. Đã xác định độ bền va đập izod của vật liệu composite trên cơ sở nhựa nền epoxy gia cường bằng sợi xơ dừa ở các hàm lượng 0, 3, 6 và 9% KL. Giá trị độ bền va đập lấy trung bình của 3 mẫu xác định, kết quả nhận được trình bày trên hình 5.



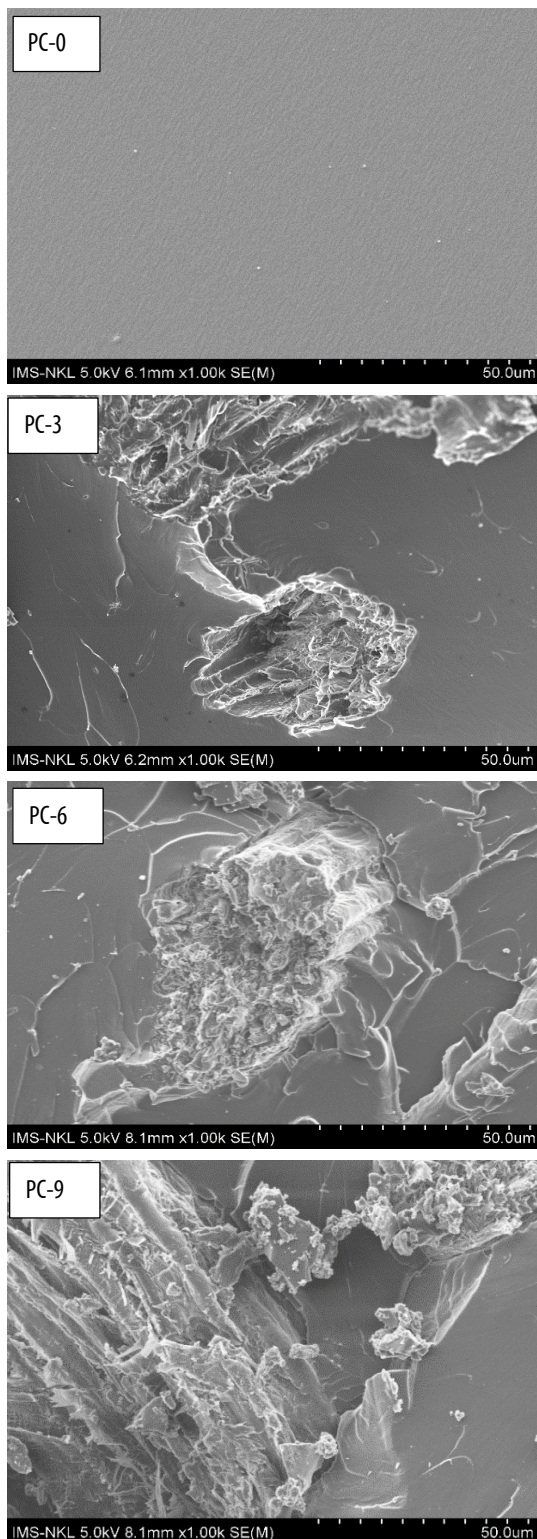
Hình 5. Ảnh hưởng hàm lượng sợi xơ dừa đến độ bền va đập của composite

Kết quả trên hình 5 cho thấy khi tăng hàm lượng sợi xơ dừa gia cường từ 0, 3 và 6% KL cho độ bền va đập izod tăng mạnh tương ứng là 3,9; 4,5 và 5,9kJ/m². Nếu tiếp tục tăng hàm lượng sợi gia cường lên 9% KL cho độ bền va đập tăng lên không nhiều và đạt 6,5kJ/m². Như vậy, khi sử dụng chất gia cường sợi xơ dừa cho nhựa epoxy ở hàm lượng 9% KL cho độ bền va đập izod tăng 66,6% (từ 3,9 đến 6,5kJ/m²). Xảy ra điều này là do sợi xơ dừa đóng vai trò là một chất gia cường cho nhựa epoxy làm cho kết cấu của composite tăng lên, đồng thời bề mặt sợi xơ dừa được xử lý và làm sạch bằng NaOH nên tăng khả năng kết dính hơn giữa nhựa nền và sợi gia cường.

3.4. Hình thái cấu trúc bề mặt mẫu composite

Bề mặt gãy của mẫu composite được xác định bằng ảnh SEM ở các hàm lượng sợi xơ dừa gia cường khác nhau, kết quả nhận được trình bày trong hình 6. Kết quả trong hình 6 cho thấy, hình thái bề mặt mẫu có sự khác biệt giữa các hàm lượng sợi gia cường khác nhau. Ở mẫu không chứa sợi xơ dừa gia cường (mẫu PC-0) cho bề mặt đứt gãy nhẵn và phẳng thể hiện tính chất phá hủy dòn của vật

liệu, với bề mặt hình thái này cho độ bền cơ học thấp. Còn với các mẫu 3, 6 và 9% KL, tương ứng với các mẫu PC-3, PC-6 và PC-9 cho bề mặt đứt gãy gồ ghề và không nhẵn, thể hiện cho quá trình phá hủy dẻo dai và thường cho độ bền cơ học cao [16].



Hình 6. Bề mặt đứt gãy của mẫu composite trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng sợi xơ dừa ở các hàm lượng khác nhau

Như vậy, với sự có mặt của sợi xơ dừa gia cường đã làm cho bề mặt phá hủy của vật liệu không phẳng, các cấu trúc giữa sợi và nhựa nền được lộ rõ là chất gia cường, làm cho tổ hợp vật liệu composite có cấu trúc chặt chẽ, khó phá hủy hơn so với mẫu không gia cường có bề mặt phá hủy phẳng, từ đó nâng cao được các tính chất cơ học của vật liệu composite.

4. KẾT LUẬN

Đã chế tạo được vật liệu composite trên cơ sở nhựa epoxy epikote 828, sử dụng chất đóng rắn CEDETA và gia cường bằng sợi xơ dừa ở các hàm lượng 0%, 3%, 6% và 9% KL, đồng thời nghiên cứu ảnh hưởng của sợi xơ dừa đến độ bền nhiệt, bền kéo, bền va đập izod và hình thái cấu trúc bề mặt của vật liệu composite. Kết quả cho thấy độ bền nhiệt của vật liệu composite có xu hướng giảm khi hàm lượng sợi xơ dừa gia cường tăng. Độ bền cơ học được cải thiện đáng kể và đạt giá trị lớn nhất ở hàm lượng 9% KL sợi xơ dừa gia cường, cụ thể độ bền kéo tăng 21,1% (từ 34,5 lên 41,8MPa) và độ bền va đập izod tăng 66,6% (từ 3,9 đến 6,5kJ/m²). Hình thái cấu trúc bề mặt phá hủy của mẫu composite ở các hàm lượng gia cường khác nhau có sự khác biệt. Ở mẫu không gia cường sợi xơ dừa có bề mặt phá hủy nhẵn và phẳng cho độ bền cơ học thấp, trong khi đó ở các mẫu gia cường bằng sợi xơ dừa cho bề mặt phá hủy không bằng phẳng, bề mặt gồ ghề lộ rõ sợi xơ dừa gia cường bên trong bề mặt composite và làm cho vật liệu composite có độ bền cơ học cao hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Y. Feng, Z. Zhang, D. Yue, V. O. Belko, S. A. Maksimenko, J. Deng, Y. Sun, Z. Yang, Q. Fu, L.F. Baixin Liu, Q. Chen, "Recent progress in degradation and recycling of epoxy resin," *Journal of Materials Research and Technology*, 32, 2891-2912, 2024.
- [2]. P. G. C. N. T. Pilapitiya, A. S. Ratnayake, "The world of plastic waste: A review," *Cleaner Materials*, 11, 100220, 2024.
- [3]. M. Syduzzaman, M. A. A. Faruque, K. Bilisik, M. Naebe, "Plant-Based Natural Fibre Reinforced Composites: A Review on Fabrication Properties and Applications," *Coatings*, 10, 973, 2020. doi:10.3390/coatings10100973.
- [4]. S. W. Ghorji, G. S. Rao, A. A. Rajhi, A. A. Duhduh, V. Tirth, "Enhanced thermal and flexural properties of alkalinized date palm/kenaf fiber-reinforced epoxy hybrid composites: A comparative study of untreated and treated fibers," *J Nat Fibers*, 21:2421803, 2024.
- [5]. D. H. Trung, "Effect of micro-sized lotus fibers on the fracture toughness of epoxy resin," *Iranian Polymer Journal*, 2025. doi.org/10.1007/s13726-025-01488-w.

- [6]. V. Naik, M. Kumar, V. Kaup, "A Review on Natural Fiber Composite Materials in Automotive Applications", *Eng. Sci.*, 18, 1-10, 2022.
- [7]. M Boopalan, M Niranjanaa, M. J Umamathy, "Study on the mechanical properties and thermal properties of jute and banana fiber reinforced epoxy hybrid composites," *Composites: Part B*, 51, 54-57, 2013.
- [8]. C. C. Daniel-Mkpume, C. Ugochukwu, E. G. Okonkwo, O. S. I. Fayomi, S. M. Obiorah, "Effect of Luffa cylindrica fiber and particulate on the mechanical properties of epoxy," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102, 3439-3444, 2019. doi.org/10.1007/s00170-019-03422-w.
- [9]. N.T.Phong, M. H. Gabr, K. Okubo, B. Chuong, T. Fujii, "Enhancement of mechanical properties of carbon fabric/epoxy composites using micro/nano-sized bamboo fibrils," *Mater Des*, 47:624-632, 2013.
- [10]. M. Alhijazi, B. Safaei, Q. Zeeshan, M. Asmael, Arameh Eyvazian and Zhaoye Qin, "Recent Developments in Luffa Natural Fiber Composites: Review," *Sustainability*, 12, 7683, 2020. doi:10.3390/su12187683.
- [11]. D. H. Trung, D. T. Y. Oanh, "Effect of sodium hydroxide treatment on the fracture toughness of luffa natural fiber reinforced epoxy epikote 828," *Vietnam J. Chemis*, 62 (5), 727-735, 2024.
- [12]. M. Wang, X. Miao, H. Li, Ch. Chen, "Effect of Length of Cellulose Nanofibers on Mechanical Reinforcement of Polyvinyl Alcohol," *Polymers*, 14, 128, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14010128>.
- [13]. N. T. Phong, M. H. Gabr, L. H. Anh, V. M. Duc, A. Betti, K. Okubo, B. Chuong, T. Fujii, "Improved fracture toughness and fatigue life of carbon fiber reinforced epoxy composite due to incorporation of rubber nanoparticles," *J Mater Sci*, 48:6039-6047, 2013.
- [14]. N. Đ. Lâm, N. T. Hội, "Chế tạo và xác định tính chất cơ lý của vật liệu composite trên nền epoxy/amin gia cường sợi xơ dừa", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 11 (96), 99-102, 2025.
- [15]. K. P. Marimuthu, S. M. Kumar, V. R. Kumar, H. K. Govindaraju, "Characterization of mechanical properties of epoxy reinforced with glass fiber and coconut fiber," *Mater Today*, 16:661-667, 2019.
- [16]. M. I. Howlader, M. I. Mehedi, M. M. Alam, A. Z. M. Mofasser, N. I. Sayed, M. A. Alim, M. A. Assiri, R. Mia, "Mechanical and morphological analysis of natural fiber-reinforced epoxy and polyester hybrid composites," *Results in Engineering* 26, 105010, 2025. doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105010.

AUTHORS INFORMATION

**Dang Huu Trung, Pham Thi Mai Huong, Nguyen The Huu,
Nguyen Tuan Anh, Bui Thi Thu Trang**
Hanoi University of Industry, Vietnam