

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG HẠT  $Al_2O_3$   
LÊN TÍNH CHẤT CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE NỀN EPOXY  
GIA CƯỜNG BẰNG SỢI DỨA

Nguyễn Thị Hằng Nga<sup>1\*</sup>, Nguyễn Việt Đức<sup>1</sup>, Khương Đức Phú<sup>1</sup>, Lê Quang Khải<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này tiến hành phân tích ảnh hưởng của hàm lượng hạt  $Al_2O_3$  với tỷ lệ lần lượt là 1, 2, 3 và 4 wt%, đến các đặc trưng cơ học và hóa lý của vật liệu composite nền epoxy gia cường với 10% sợi dứa. Thực nghiệm cho thấy các đặc tính cơ học của composite biến đổi rõ rệt tùy thuộc vào tỷ lệ hạt  $Al_2O_3$  bổ sung. Cụ thể, độ bền kéo đạt giá trị tối đa 52.4 MPa tại hàm lượng hạt 2 wt%. Độ bền uốn và mô đun uốn cao nhất lần lượt ghi nhận ở 3 wt% hạt  $Al_2O_3$  ở 87MPa và 3.2 GPa. Ở mức 4 wt%, composite thể hiện khả năng chịu va đập nâng cao đáng kể, với độ bền va đập tăng hơn 15% so với vật liệu không gia cường, đồng thời có khả năng hấp thụ dung môi đạt mức tối đa 6.2%. Phân tích cấu trúc bề mặt qua ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) cho kết quả tương thích với các phép đo cơ tính, phản ánh sự phân bố và tương tác giữa các thành phần trong composite. Kết quả thu được cung cấp cơ sở khoa học để lựa chọn hàm lượng hạt  $Al_2O_3$  tối ưu, phù hợp với yêu cầu ứng dụng cụ thể của vật liệu composite.

**Từ khóa:** Composite, nhựa epoxy, sợi dứa, hạt  $Al_2O_3$ , tính chất cơ học.

1. GIỚI THIỆU

Composite gia cường sợi tự nhiên ngày càng được quan tâm trong lĩnh vực vật liệu do tính thân thiện với môi trường, khả năng tái tạo và giá thành thấp (R. Mohamed, 2021). Trong đó, sợi dứa được đánh giá cao nhờ hàm lượng cellulose lớn và đặc tính cơ học tốt, là lựa chọn tiềm năng để gia cường cho các vật liệu nền epoxy (P. B. Anand, 2022). Bên cạnh việc chỉ gia cường sợi, các nghiên cứu mới đây cũng đưa ra việc thêm vào các hạt nano vào nền làm tăng cường các tính chất của vật liệu composite (Dalfi.HK, 2025). Trong số các chất độn nano được sử dụng phổ biến, phải kể đến nano  $Al_2O_3$  (S.S. Vinay, 2021) nhờ độ cứng cao, tính ổn định hóa học và khả năng phân tán tốt trong ma trận polyme, giúp tăng cường liên kết giữa sợi dứa và nền epoxy, đồng thời nâng cao khả năng chịu lực và độ bền mài mòn của vật liệu composite. Hạt  $Al_2O_3$  đã được sử dụng để gia cường hạt vào epoxy (Indra Mawardi, 2024; Ting Zhang, 2025) làm gia tăng cơ tính như độ bền kéo, uốn, độ cứng so với epoxy nguyên chất.

S.S. Vinay và đồng nghiệp (S.S. Vinay, 2021) đã mô tả quá trình chế tạo và đặc tính cơ học, mài mòn của vật liệu composite epoxy gia cường sợi thủy tinh khi bổ sung nano alumina với các tỷ lệ khác nhau (1%, 2%, 3% và 4% theo tỷ lệ khối lượng) bằng kỹ thuật đóng gói chân không. Việc bổ sung chất độn nano đã cải thiện đáng kể đặc tính cơ học (độ bền kéo, độ uốn và độ cứng) và độ mài mòn của vật liệu composite. Người ta quan sát thấy độ bền kéo, độ bền uốn, độ cứng tăng dần và tốc độ mài mòn giảm dần khi tỷ lệ chất độn nano tăng. Kết quả cho thấy 4% hạt nano- $Al_2O_3$  trong vật liệu composite có thể được coi là hiệu

quả cho các ứng dụng kỹ thuật. Nghiên cứu khác của Indra Mawardi (Indra Mawardi, 2024) đã kiểm tra tác động của các hạt  $Al_2O_3$  với tỷ lệ 5, 10, 15% theo trọng lượng lên các đặc tính ổn định vật lý, cơ học và nhiệt của vật liệu composite epoxy được gia cố bằng 30% sợi dứa. Độ bền uốn, độ cứng, mật độ, khả năng chống nước và độ ổn định nhiệt tăng dần theo % trọng lượng  $Al_2O_3$  trong vật liệu composite, trong khi độ bền kéo giảm. Kết quả đặc tính cho thấy vật liệu composite gia cường sợi dứa chứa  $Al_2O_3$  có tiềm năng làm vật liệu kỹ thuật. Tuy nhiên, ứng dụng của chúng phải xem xét đến các điều kiện tải trọng làm việc. Md Azizul Islam và đồng nghiệp (Md Azizul Islam, 2019) đã chế tạo vật liệu composite mới bao gồm sợi đay và sợi thủy tinh có hạt nano ( $Al_2O_3$  và  $SiO_2$ ) nền epoxy và đóng rắn liên kết theo ba tỷ lệ trọng lượng (g) lần lượt là 150: 0: 15, 150: 5: 15 và 150: 15: 15. Kết quả cho thấy  $Al_2O_3$  và  $SiO_2$  làm tăng tính chất cơ học. Hầu hết các vật liệu composite có khoảng 50% phân hủy trong phạm vi nhiệt độ từ 350°C đến 400 °C. Kết quả cũng cho thấy nhiệt dung riêng và tổng nhiệt hấp thụ trong quá trình composite lần lượt là 0.48 J/g °C đến 1.4 J/g °C và 135 J đến 175 J.

Tuy nhiên, việc xác định tỷ lệ hạt  $Al_2O_3$  tối ưu để cân bằng giữa cải thiện tính chất và tránh hiện tượng kết tụ hạt vẫn còn là thách thức trong nghiên cứu. Do đó, bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ hạt  $Al_2O_3$  đến các tính chất cơ học và vật lý của vật liệu composite nền epoxy gia cường bằng sợi dứa, nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc phát triển vật liệu composite thân thiện môi trường, bền chắc và có tính ứng dụng cao.

2. QUY TRÌNH THỰC NGHIỆM

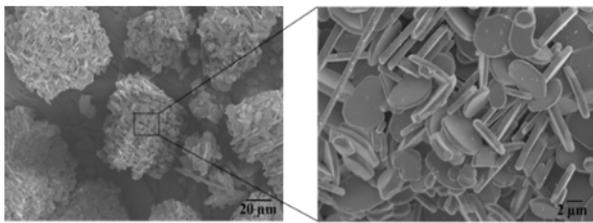
2.1. Vật liệu và hóa chất

Sợi dứa thô do Công ty Cổ phần Sản xuất và

<sup>1</sup>Trường Đại học Thủy lợi

\* Tác giả liên hệ

Thương mại Ecofa (Việt Nam) cung cấp, với thành phần tương ứng Cellulose 70 -86%, Lignin 5-10%, chất chiết xuất 6.85% và Pectin 1.5% và các có tính chất: độ bền kéo 1.45-80 MPa, khối lượng riêng 1.0 -1.7 (g/cm<sup>3</sup>), và hệ số giãn dài 1.5 -16.3%. Nhựa Epoxy Resin A50 bao gồm epoxy YD128 (A) và chất đóng rắn polyamide (B) được phân phối bởi Công ty TNHH Sản xuất và Thương mại Dịch vụ Quyết Trí (Việt Nam). Hóa chất NaOH 96%, màu trắng dạng viên, không mùi của Công ty Xilong Scientific (Trung Quốc) được sử dụng trong quá trình xử lý sợi. Hạt Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dạng bột tinh thể màu trắng có kích thước 5-7μm (Hình 1), khối lượng riêng 101.96 (g/cm<sup>3</sup>) do Công ty Xilong Scientific (Trung Quốc) sản xuất được dùng để gia cường.



Hình 1. Ảnh SEM hạt Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## 2.2. Quy trình làm mẫu

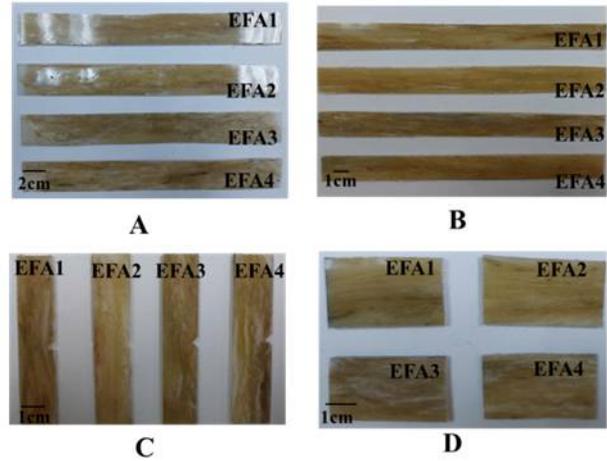
Quy trình chế tạo các mẫu composite epoxy gia cường sợi dứa và hạt oxit nhôm được thực hiện bằng kỹ thuật Hand Layup. Sợi lá dứa thô được chải và tách để loại bỏ tạp chất, ngâm sợi trong dung dịch NaOH 5% qua 24 giờ ở nhiệt độ phòng, rửa sạch nhiều lần bằng nước sạch và phơi khô tự nhiên. Sau xử lý, sợi được tách nhỏ, kẹp căng và làm phẳng. Hạt Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> được sấy khô ở nhiệt độ 60°C trong 8h và rây lại nhiều lần được thêm vào hỗn hợp nhựa epoxy và chất đóng rắn (theo tỷ lệ 3A:1B) với các hàm lượng khác nhau 1, 2, 3, 4 % theo khối lượng. Hỗn hợp được khuấy ở tốc độ 60 vòng/phút trong 5 phút sau đó đổ vào khuôn chứa 10% sợi dứa được sắp xếp một chiều. Sử dụng con lăn, lăn dần đều hỗn hợp để thấm vào sợi dứa và phân bố đều. Cuối cùng mẫu được ép dưới trọng lượng 200 N trong 8 giờ ở nhiệt độ phòng. Sau một ngày, mẫu được lấy ra khỏi khuôn và gia công theo kích thước tiêu chuẩn để nghiên cứu các tính chất cơ học.

**Bảng 1. Thành phần vật liệu trong mẫu các mẫu composite**

Tên mẫu	Tỷ lệ epoxy và chất đóng rắn (wt%)	Tỷ lệ sợi dứa (wt%)	Tỷ lệ hạt Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt %)
EF	90	10	0
EFA1	89	10	1
EFA2	88	10	2
EFA3	87	10	3
EFA4	86	10	4

Mẫu thử kéo theo tiêu chuẩn ASTM D3039 kích thước (25 x 250 x 3) mm<sup>3</sup>. Hai đầu của mẫu được gia

cố bởi tấm epoxy có độ dày tương đương với độ dày của mẫu. Mẫu thử uốn theo tiêu chuẩn ASTM D790 kích thước (12.7 x 127 x 3.2) mm<sup>3</sup>. Mẫu thử va đập Izod theo tiêu chuẩn ASTM D256 (12.7 x 64 x 3.2) mm<sup>3</sup> với độ sâu rãnh khía là 2 mm. Mẫu đo khả năng hấp thụ nước khử ion (DI) theo tiêu chuẩn ASTM D570 (30 x 35 x 3.2) mm<sup>3</sup>.



Hình 2. Các mẫu theo tiêu chuẩn (A) Mẫu kéo, (B) Mẫu uốn, (C) Mẫu va đập, (D) Mẫu thử nghiệm khả năng hấp thụ nước DI

## 2.3. Đo đạc thực nghiệm

Cơ tính của các mẫu composite được đo bằng máy vạn năng ZMD5, trong đó đầu đo lực kéo (Load cell) Bufson sensor BSLZ-1, CAP 700 kg được sử dụng trong quá trình đo độ bền kéo với tốc độ gia tải là 0.02 mm/s. Đo bền uốn sử dụng đầu đo Kyowa DTHA-50, với khoảng cách giữa hai gối đỡ là 80 mm. Kết quả thực nghiệm được ghi bằng máy đo Multirecoder TMR-Z211.

Thử nghiệm va đập được thực hiện để đánh giá khả năng chịu tải va đập của vật liệu composite sử dụng phương pháp Izod với chiều con lắc là 0.85 m, góc nâng búa là 30°.

Mẫu khảo sát khả năng hấp thụ nước được ngâm trong nước khử ion trong 20 ngày. Hàng ngày mẫu được đưa ra cân lại bằng cân phân tích Ohaus, PA213 với độ chính xác 0.01 mg. Độ hấp thụ của mẫu được xác định:

$$\text{Độ hấp thụ (\%)} = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100$$

Trong đó: m<sub>i</sub> là khối lượng ban đầu của vật liệu và m<sub>f</sub> là khối lượng của vật liệu sau khi ngâm nước.

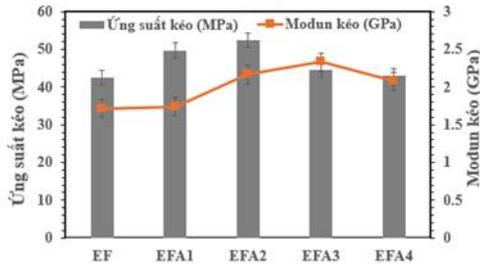
Ảnh hình thái cấu trúc bề mặt vật liệu composite được chụp bởi kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscopy-SEM) Hitachi Regulus 8100.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Độ bền kéo

Việc gia cường epoxy bằng 10% sợi dứa đã cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc cải thiện độ bền kéo của

vật liệu so với epoxy nguyên chất (N.Saba, 2017). Hàm lượng sợi 10% được xem là tối ưu, giúp nền epoxy thấm ướt và bao phủ toàn bộ bề mặt sợi, đảm bảo khả năng truyền ứng suất hiệu quả tại vùng giao diện. Nếu tăng hàm lượng sợi cao hơn, sự phân bố không đồng đều và hiện tượng kết tụ sợi có thể xảy ra, dẫn đến suy giảm cơ tính điều này cũng được ghi nhận trong một số nghiên cứu trước (Saba, N,2017; Rahmah Mohamed,

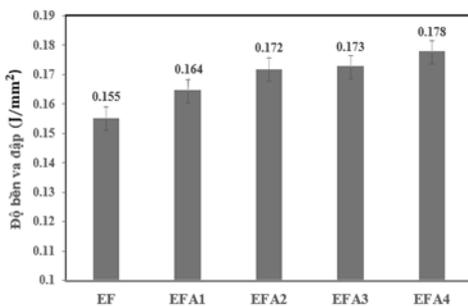


Hình 3. Ứng suất bền kéo và modun kéo của các mẫu composite

Sự cải thiện này có thể là do sự phân tán hiệu quả của các hạt  $Al_2O_3$  trong ma trận epoxy, giúp truyền ứng suất tốt hơn từ ma trận sang các sợi và làm chậm quá trình bắt đầu và lan truyền vết nứt. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng hàm lượng  $Al_2O_3$  thì ứng suất kéo giảm dần xuống 44.6 MPa đối với mẫu EFA3 và 42.9 MPa với mẫu EFA4. Điều này cho thấy rằng lượng  $Al_2O_3$  quá mức dẫn đến sự kết tụ các hạt, hoạt động như các chất tập trung ứng suất làm tăng tốc độ phát triển vết nứt và vật liệu dễ bị phá hủy hơn (N.Saba, 2017; A. Devaraju, 2020; Lbakhali.T, 2023).

### 3.2. Độ bền uốn

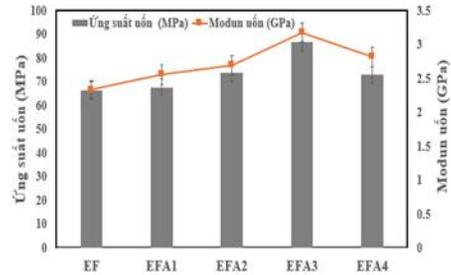
Hình 4 trình bày sự ảnh hưởng của hàm lượng  $Al_2O_3$  đến độ bền uốn và mô đun uốn của các mẫu composite sau quá trình thử nghiệm uốn 3 điểm. Từ kết



Hình 5. Đo độ bền va đập của các mẫu composite

Ảnh hưởng của hàm lượng  $Al_2O_3$  đến độ bền va đập của vật liệu composite được trình bày trong Hình 5. Kết quả cho thấy khả năng chống va đập được cải thiện xấp xỉ 15% khi hàm lượng  $Al_2O_3$  tăng dần. Ở 1 wt%  $Al_2O_3$  (EFA1), vật liệu composite thể hiện độ bền va đập thấp nhất 0.164 J/mm², cho thấy một lượng  $Al_2O_3$  hạn chế là không đủ để thay đổi đáng kể khả năng chống gãy của nền. Khi hàm lượng  $Al_2O_3$  tăng lên 2-3

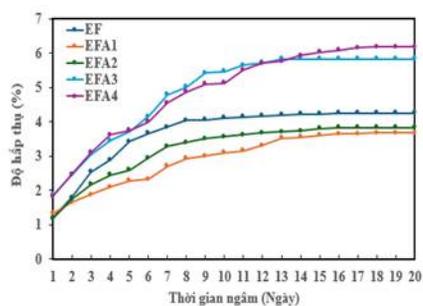
wt% (EFA2–EFA3), độ bền va đập được cải thiện lên 0.172–0.173 J/mm², cho thấy các hạt  $Al_2O_3$  phân tán tốt đã thúc đẩy các cơ chế tiêu tán năng lượng, do đó tăng cường độ dai. Cường độ va đập tối đa đạt được là 0.178 J/mm² ở hàm lượng 4 wt%  $Al_2O_3$  (EFA4), cho thấy vật liệu composite có khả năng hấp thụ nhiều năng lượng hơn trong quá trình nứt vỡ nhờ sự tương tác hiệp đồng giữa sợi dứa, nền epoxy và các hạt  $Al_2O_3$  cứng.



Hình 4. Ứng suất bền uốn và modun uốn của các mẫu composite

quả tính toán cho thấy độ bền uốn tăng và mô đun uốn tăng nhẹ so với khi không gia cường từ EFA1 đến EFA2 và đạt đỉnh tại EFA3 với ứng suất uốn cực đại 87 MPa và mô đun uốn 3.2 GPa. Kết quả cho thấy hàm lượng  $Al_2O_3$  phân tán vừa phải làm tăng khả năng chống biến dạng uốn của vật liệu composite, đồng thời cũng làm tăng ứng suất uốn cực đại. Sự gia tăng này xuất phát từ sự liên kết cơ học và độ nhám tại giao diện sợi-ma trận, các hạt  $Al_2O_3$  cứng, mô đun cao hạn chế biến dạng cắt bên trong epoxy (P.B. Anand, 2022). Khi hàm lượng vượt quá hàm lượng tối ưu như mẫu EFA4, sự tập trung hạt làm giảm diện tích giao diện hiệu dụng, thúc đẩy các lỗ rỗng nhỏ và tập trung ứng suất cắt, do đó làm giảm cả mô đun và độ bền.

### 3.3. Độ bền va đập



Hình 6. Độ hấp thụ của các mẫu composite

wt% (EFA2–EFA3), độ bền va đập được cải thiện lên 0.172–0.173 J/mm², cho thấy các hạt  $Al_2O_3$  phân tán tốt đã thúc đẩy các cơ chế tiêu tán năng lượng, do đó tăng cường độ dai. Cường độ va đập tối đa đạt được là 0.178 J/mm² ở hàm lượng 4 wt%  $Al_2O_3$  (EFA4), cho thấy vật liệu composite có khả năng hấp thụ nhiều năng lượng hơn trong quá trình nứt vỡ nhờ sự tương tác hiệp đồng giữa sợi dứa, nền epoxy và các hạt  $Al_2O_3$  cứng.

Xu hướng quan sát được làm nổi bật vai trò của các hạt  $Al_2O_3$  trong việc làm cứng nền epoxy bằng cách tạo ra các rào cản ngăn chặn sự lan truyền vết nứt và tăng diện tích bề mặt vết nứt. Điều này dẫn đến sự chuyển đổi từ gãy giòn sang gãy hỗn hợp, cải thiện khả năng hấp thụ năng lượng của vật liệu composite. Không giống như các đặc tính kéo và uốn, thường bị suy giảm khi tải trọng hạt lớn hơn do kết tụ, cường độ va đập tiếp tục cải thiện lên đến 4 wt%, cho thấy sự phân tán hạt vẫn đủ và không tạo ra các điểm tập trung ứng suất quan trọng trong trường hợp này (N.Saba, 2017).

### 3.4. Khả năng hấp thụ nước

Hình 6 trình bày kết quả quá trình hấp thụ nước của vật liệu composite gia cường bằng

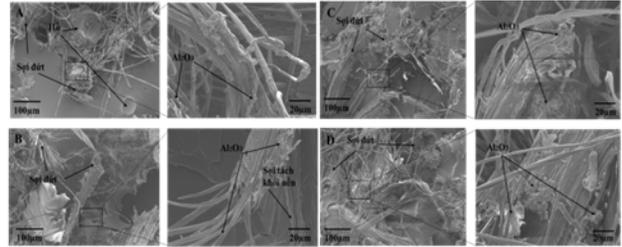
$Al_2O_3$  ở các hàm lượng khác nhau. Nhìn chung, tất cả các mẫu đều cho thấy sự gia tăng nhanh chóng khả năng hấp thụ nước ở giai đoạn đầu (1–5 ngày), sau đó là giai đoạn bão hòa dần dần, trong đó tốc độ hấp thụ có xu hướng ổn định. Kết quả này là đặc trưng của vật liệu composite polyme và được chi phối bởi sự khuếch tán Fickian ở giai đoạn đầu, sau đó đạt đến trạng thái cân bằng khi các lỗ rỗng và các vị trí ưa nước trở nên bão hòa (Alao PF, 2021).

Trong số các mẫu được nghiên cứu, vật liệu composite EF cho thấy mức độ hấp thụ vừa phải, khoảng 4.5% ở trạng thái cân bằng. Sự kết hợp của các hạt  $Al_2O_3$  ảnh hưởng đáng kể đến xu hướng hấp thụ. Ở hàm lượng  $Al_2O_3$  thấp ở mẫu EFA1 và EFA2, vật liệu composite cho thấy khả năng hấp thụ nước giảm (khoảng 3.5–4%), điều này có thể là do hiệu ứng rào cản của các hạt nano phân tán tốt, lấp đầy các lỗ rỗng siêu nhỏ và cản trở sự thấm nước. Ngược lại, ở hàm lượng  $Al_2O_3$  cao hơn trong EFA3 và EFA4, khả năng hấp thụ nước tăng đáng kể, lần lượt đạt khoảng 6% và khoảng 6.2%. Sự gia tăng này có thể được giải thích bởi xu hướng kết tụ của các hạt nano ở nồng độ cao hơn, tạo ra các khuyết tật giao diện và các lỗ rỗng siêu nhỏ, do đó tạo điều kiện cho nước thấm vào. Hơn nữa, hạt độ quá mức làm gián đoạn độ bám dính giao diện giữa sợi và nền, cho phép độ ẩm dễ dàng thấm qua giao diện sợi-nền.

### 3.5. Hình thái cấu trúc bề mặt mẫu composite

Ảnh SEM bề mặt gãy của vật liệu composite nền epoxy gia cường sợi dứa khi có bổ sung hạt  $Al_2O_3$  với các hàm lượng khác nhau khi bị phá hủy được thể hiện trong Hình 7. Hình 7 A,B mẫu EFA1 và EFA2 với hàm lượng  $Al_2O_3$  thấp, bề mặt gãy cho thấy sự kéo sợi đáng kể và các khoảng trống giao diện (các hố) cho thấy độ bám dính giữa sợi và nền yếu, sự hiện diện của các hạt ít. Các đặc điểm như vậy có liên quan đến hiệu suất truyền ứng suất kém giữa sợi dứa và nền epoxy, dẫn đến hỏng sớm chủ yếu do tách khỏi nền bong liên kết với nền và kéo sợi (P. B. Anand, 2020) Khi hàm lượng

$Al_2O_3$  tăng lên 3 % trong Hình 7C, bề mặt sợi gãy biểu hiện các đặc điểm không đều và nhám hơn với sự kéo sợi giảm, cho thấy liên kết giao diện được cải thiện. Điều này có thể là do hiệu ứng liên kết cơ học của các hạt nano  $Al_2O_3$ , giúp tăng cường khả năng truyền tải trọng qua giao diện (Indra Mawardi, 2024).



Hình 7. Ảnh SEM bề mặt gãy của các mẫu composite sau khi bị phá hủy (A) EFA1, (B) EFA2, (C) EFA3, (D) EFA4

Tuy nhiên, ở hàm lượng  $Al_2O_3$  cao hơn (Hình 7D), sự kết tụ hạt và các lỗ rỗng giao diện đã được quan sát thấy, các hạt  $Al_2O_3$  bám dày lên sợi hoạt động như các vị trí tập trung ứng suất, do đó làm giảm hiệu quả gia cường. Hiện tượng này phù hợp với các nghiên cứu trước đó, chứng minh rằng hàm lượng hạt nano quá mức dẫn đến kết tụ và sau đó làm giảm hiệu suất cơ học (Zhou, 2020). Kết quả cho thấy  $Al_2O_3$  đóng vai trò kép: tăng cường liên kết sợi-ma trận và khả năng chống gãy ở nồng độ vừa phải, nhưng gây ra khuyết tật giao diện ở nồng độ cao hơn. Kết quả này phù hợp với xu hướng trong kết quả thử uốn của các mẫu composite.

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chứng minh rằng việc bổ sung hạt  $Al_2O_3$  vào composite nền epoxy gia cường sợi dứa có ảnh hưởng rõ rệt đến các đặc tính cơ học và khả năng hấp thụ dung môi của vật liệu. Cụ thể, hàm lượng 2 wt%  $Al_2O_3$  gia cường cho độ bền kéo tối ưu 52.4 MPa cao hơn khi chưa gia cường gần 20% và khả năng kháng nước tốt nhất khi chỉ hấp thụ 3.5% trong 20 ngày. Trong khi đó, khi thêm vào 3 wt%  $Al_2O_3$  mang lại độ bền uốn và mô đun uốn cao nhất tương ứng 87 MPa và 3.2 GPa. Hàm lượng 4 wt%  $Al_2O_3$  gia cường giúp cải thiện đáng kể độ bền va đập, cao hơn khoảng 15% so với mẫu không có hạt, đồng thời cũng ghi nhận mức hấp thụ dung môi cao nhất 6.2%. Ảnh SEM khẳng định sự phù hợp giữa cấu trúc vi mô và kết quả cơ tính. Những phát hiện này cho thấy hiệu quả của việc lựa chọn hàm lượng hạt  $Al_2O_3$  phù hợp tùy thuộc vào yêu cầu ứng dụng thực tiễn của composite.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Ngân sách Khoa học và Công nghệ của Trường Đại học Thủy lợi theo mã số đề tài CS2025-03.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- A.Devaraju, P. Murali (2020), “*Experimental investigation of mechanical and tribological properties of palm fiber composite with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particles*”, *Materials Today: Proceedings*. 22 (3),1161-1166
- Alao PF, Marrot L, Kallakas H, Just A, Poltimäe T, Kers J (2021), “*Effect of Hemp Fiber Surface Treatment on the Moisture/Water Resistance and Reaction to Fire of Reinforced PLA Composites*”. *Materials*. 14(15):4332.
- Dalfi HK, Alomarah A, Jan K, et al (2025), “*Enhancement of mechanical, physical, and electrical performances of epoxy composites by inclusion nano-particles: A review*”. *Journal of Composite Materials*. 0(0)
- Indra Mawardi, Hanif Razak, Zaini Akadir (2024), “*The effect of containing Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> microparticles in different matrix polymers on properties of pineapple fiber-reinforced composites*”, *Frattura ed Integrità Strutturale*. 67, 94-107
- Lbakhali T, Fouly A, Alnaser IA, Elsheniti MB, Rezk A, Abdo HS (2023), “*Investigation of the Mechanical and Tribological Behavior of Epoxy-Based Hybrid Composite*”. *Polymers (Basel)*. 25;15(19):3880
- Md Azizul Islam, Mohammad Asaduzzaman Chowdhury, Md Bengir Ahmed Shuvho, Md Abdul Aziz and Mohamed Kchaou (2019), “*Thermal analysis of hybrid composites reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> filler particles*”, *Mater. Res. Express*. 6, 125361
- P.B. Anand, A. Lakshmikanthan, M.P.G.Chandrashekarappa, C.P. Selvan, D.Y. Pimenov and K.Giasin (2022), “*Experimental Investigation of Effect of Fiber Length on Mechanical, Wear, and Morphological Behavior of Silane-Treated Pineapple Leaf Fiber Reinforced Polymer Composites*”. *Fibers* 10, 56
- Rahmah Mohamed, Norsuriati Muhmad Hapizi1, Mohd Nurrazi Norizan, Nur Khairunnisa (2021), “*Pineapple leaf fibers as a reinforcement of biocomposites – an overview*”, *Polimery*, 66, 11–12
- Ting Zhang, Xujiang Chao, Junhao Liang, Bin Wang, Mengmeng Sun (2025), “*Enhanced Mechanical Properties of Epoxy Composites Reinforced with Silane-Modified Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles: An Experimental Study*”, *Journal of Composites Science*, 9 (5) 252
- Saba, N., Jawaid, M., Alothman, O. Y., & Paridah, M. T. (2017), “*A review on dynamic mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites*”. *Construction and Building Materials*, 106, 149–159
- S.S. Vinay, C.V. Venkatesh (2021), “*Effect of nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles on mechanical and wear behaviour of glass fibre epoxy composites*”, *Materials Today: Proceedings*, 46 (18), 9004-9007
- Zhou, Y., Pervin, F., Lewis, L., & Jeelani, S. (2020). *Experimental study on the thermal and mechanical behavior of nanoparticle reinforced polymer composites*. *Composites Part B: Engineering*, 42(2), 376–380.

### Abstract:

#### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> PARTICLE CONTENT ON THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH PINEAPPLE FIBERS

*This study analyzed the effects of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle content at 1, 2, 3, and 4 wt% on the mechanical and physicochemical properties of epoxy composites reinforced with 10% pineapple fibers. Experiments demonstrated that the mechanical properties of the composites varied significantly with the addition of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. Specifically, the tensile strength reached a maximum value of 52.4 MPa at a particle content of 2 wt%. The highest flexural strength and flexural modulus were recorded at 3 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles at 87MPa and 3.2 GPa, respectively. At 4 wt%, the composite exhibited significantly improved impact resistance, with an increase in impact strength of more than 15% compared to the unreinforced material, and a maximum solvent absorption of 6.2%. Surface structure analysis by scanning electron microscopy (SEM) yields results consistent with mechanical measurements, reflecting the distribution and interactions among the composite's components. The results provide a scientific basis for selecting the optimal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle content, tailored to the specific application requirements of the composite material.*

**Keywords:** Composite, epoxy, pineapple fiber, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mechanical properties.

---

Ngày nhận bài: 06/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/10/2025