

# Ảnh hưởng của độ ẩm và nhiệt độ môi trường đến độ bền cơ lý của polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng

Phạm Thu Trang<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thanh Tùng<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Khôi<sup>1</sup>, Phạm Thị Thu Hà<sup>1</sup>, Nguyễn Trung Đức<sup>1</sup>, Nguyễn Thu Hương<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Công ty TNHH Công nghệ và Dịch vụ Thương mại Lạc Trung, 350 Lạc Trung, phường Vĩnh Tuy, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 28/6/2023; ngày chuyển phản biện 3/7/2023; ngày nhận phản biện 26/7/2023; ngày chấp nhận đăng 2/8/2023

## **Tóm tắt:**

Polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng (PBAT/TB) được chế tạo trên thiết bị trộn kín 2 trục vít Brabender. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của độ ẩm (35-95%) và nhiệt độ (10-40°C) đến độ bền cơ lý của vật liệu PBAT/TB. Các phương pháp: hàm lượng ẩm, tính chất cơ học và hình thái học bề mặt (quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét - SEM) được sử dụng để đánh giá sự thay đổi của vật liệu trong quá trình bảo quản ở các điều kiện khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hàm lượng ẩm của polyme blend PBAT/TB tăng khi độ ẩm môi trường tăng. Khi bảo quản ở nhiệt độ thấp (10-25°C) và độ ẩm thấp (35-55%), tính chất cơ học của vật liệu giảm nhẹ sau 6 tháng bảo quản, bề mặt của mẫu biến đổi không nhiều. Khi bảo quản ở nhiệt độ cao (40°C) và độ ẩm cao (95%), tính chất cơ học của vật liệu giảm mạnh (~45%), bề mặt mẫu vật liệu xuất hiện các điểm phân pha giữa tinh bột và nền nhựa PBAT.

**Từ khóa:** độ ẩm, poly(butylene adipate-co-terephthalate), polyme blend, tinh bột dong riềng.

**Chỉ số phân loại:** 1.4, 2.5, 2.7

## Effect of humidity and temperature on the mechanical strength of poly(butylene adipate-co-terephthalate)/canna starch polymer blend

Thu Trang Phạm<sup>1\*</sup>, Thanh Tung Nguyen<sup>1</sup>, Van Khoi Nguyen<sup>1</sup>, Thi Thu Ha Pham<sup>1</sup>, Trung Duc Nguyen<sup>1</sup>, Thu Hương Nguyen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Lac Trung Technology and Trading Services Company Limited, 350 Lac Trung Street, Vinh Tuy Ward, Hai Ba Trung District, Hanoi, Vietnam

Received 28 June 2023; revised 26 July 2023; accepted 2 August 2023

## **Abstract:**

Poly(butylene adipate-co-terephthalate)/canna starch (PBAT/TB) polymer blend was prepared using a twin-screw internal mixer (Brabender). The effects of humidity and temperature on the mechanical strength of PBAT/TB materials were carefully evaluated at humidity levels of 35-95% and temperatures of 10-40°C. Moisture content, mechanical properties, and surface morphology (observed using scanning electron microscopy - SEM) were analysed to evaluate the changes in the polymer blend during storage under different conditions. The study results showed that the moisture content of the polymer blend PBAT/TB increased when the environmental humidity increased. When the sample was stored at low temperature (10-25°C) and low humidity (35-55%), the mechanical properties of PBAT/TB decreased slightly after six months of storage, the fracture surface morphology of the sample did not change significantly. When the sample was stored at a high temperature (40°C) and high humidity (95%), the mechanical properties of the sample decreased sharply (~45%), and the surface of the sample material exhibited phase separation between the starch and the PBAT resin matrix.

**Keywords:** canna starch, humidity, poly(butylene adipate-co-terephthalate), polymer blend.

**Classification numbers:** 1.4, 2.5, 2.7

\*Tác giả liên hệ: Email: thutrang90vhh@gmail.com

## 1. Đặt vấn đề

Việc sử dụng các vật liệu có nguồn gốc từ dầu mỏ như polyethylen (PE), polypropylen (PP) và polystyren (PS) gây nên vấn đề ô nhiễm môi trường nghiêm trọng bởi chúng rất khó phân hủy [1]. Để giải quyết vấn nạn trên, trong những thập kỷ qua các nhà khoa học đã tập trung nghiên cứu, phát triển các vật liệu nhựa có khả năng phân hủy sinh học. Hiện nay, có khoảng 180 công ty trên thế giới tham gia sản xuất trong lĩnh vực nhựa sinh học. Trong đó, có 45 công ty sản xuất với sản lượng khoảng 400.000 tấn mỗi năm, tập trung cao nhất ở Mỹ, Đức và Nhật Bản. Việt Nam phấn đấu đến năm 2025 sử dụng 100% bao bì thân thiện môi trường tại các trung tâm thương mại, siêu thị. Có khá nhiều vật liệu được sử dụng để chế tạo nhựa phân hủy sinh học như polylactic acid (PLA), poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT), polycaprolactone (PCL), polyvinyl alcohol (PVA)... Trong đó, PBAT là một trong những polyme phân hủy đầy tiềm năng và được ứng dụng rộng rãi nhất để sản xuất túi đựng thực phẩm, túi mua hàng, túi đựng rác, màng phủ trong nông nghiệp... [2], bởi chúng có tính chất cơ học tuyệt vời, có thể thay thế cho polyethylen [3]. Tuy nhiên, PBAT có giá thành cao, để hạ giá thành sản phẩm chúng thường được tạo blend với tinh bột. Các loại tinh bột được sử dụng để chế tạo polyme blend phân hủy sinh học là ngô, lúa mì, đậu Hà Lan, khoai tây, gạo, sắn, dong riềng... Cả PBAT và tinh bột đều là vật liệu phân hủy sinh học, chúng dễ hút ẩm, vì vậy độ ẩm là yếu tố quan trọng quyết định độ bền của vật liệu. Sự phân huỷ chủ yếu là do sự thủy phân của các chuỗi đại phân tử làm khối lượng phân tử giảm nghiêm trọng [4, 5] dẫn đến tính chất cơ học giảm mạnh [6, 7]. Trong khi đó, Việt Nam là nước khí hậu nhiệt đới ẩm với đặc trưng về độ ẩm cao, nền nhiệt cao, có mưa nhiều. Vì vậy, bài báo này nhằm đánh giá ảnh hưởng của môi trường như độ ẩm, nhiệt độ đến độ bền của polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng.

## 2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Đối tượng

Nhựa poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) được cung cấp bởi Công ty SMBEST Pvt. Ltd. (Hàn Quốc) với tỷ trọng 1,22 g/cm<sup>3</sup>, chỉ số dòng chảy (MFI) 3-5 g/10 phút ở 2,16 kg/190°C. Tinh bột dong riềng được phân lập từ củ dong riềng tươi [8, 9], có hàm lượng amylose 33%, amylopectin 60%, tro 0,22% và xơ 0,31%. Dầu đậu nành epoxy hóa được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Hóa chất Thăng Long (Việt Nam) với tỷ trọng 0,98 g/cm<sup>3</sup>, chỉ số oxirane 6,5%. Axit lauric, kẽm stearat, glycerol được mua từ Trung Quốc.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Điều chế polyme blend PBAT/TB: Hạt nhựa PBAT, tinh bột dong riềng được sấy ở 70°C trong 12 giờ. Hạt nhựa PBAT, tinh bột dong riềng (tỷ lệ PBAT/tinh bột 50/50), dầu đậu nành epoxy hóa 5%, nước (10% so với tinh bột), glycerol (20% so với tinh bột), axit lauric (1,5% so với tinh bột), kẽm stearat (0,2% so với tinh bột) được trộn trên thiết bị trộn kín 2 trục vít

Brabender ở 160°C, tốc độ trục vít 50 vòng/phút trong 10 phút. Sản phẩm được ép thành các tấm dày 1 mm trên máy ép nóng GoTech ở 160°C, áp suất 100 kg/cm<sup>3</sup> trong 3 phút.

Hàm lượng ẩm: Để xác định hàm lượng ẩm của mẫu vật liệu, mẫu được cho vào chén sứ sạch rồi cho vào tủ sấy, sấy đến khối lượng không đổi ở 105°C trong khoảng 4 giờ. Hàm lượng ẩm (MC) được tính theo công thức (1):

$$MC (\%) = \frac{(w_1 - w_0)}{w_1} \times 100 \quad (1)$$

trong đó:  $w_1$ : Khối lượng mẫu ban đầu (g),  $w_0$ : Khối lượng của mẫu sau khi sấy (g).

Tính chất cơ học: Độ bền kéo đứt và độ giãn dài khi đứt của mẫu được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D638 trên thiết bị đo cơ lý BP-1068 (BAOPIN, Trung Quốc) với tốc độ kéo 50 mm/phút. Mẫu được điều hòa ở 25°C trong 24 giờ trước khi thử nghiệm. Mỗi mẫu được xác định 5 lần để lấy giá trị trung bình.

Hình thái học bề mặt: Mẫu được cắt với kích thước thích hợp, gắn trên giá đỡ, bề mặt cắt của mẫu được phủ một lớp bạc mỏng bằng phương pháp bốc hơi trong chân không để tăng độ tương phản. Mẫu được cho vào buồng đo của kính hiển vi điện tử quét SM-6510LV.

Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FT-IR): Phổ hồng ngoại của mẫu được ghi trong khoảng số sóng 400-4000 cm<sup>-1</sup> trên quang phổ kế hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) (NEXUS 670) theo phương pháp truyền qua, độ phân giải 8 cm<sup>-1</sup>, số lần quét 32 lần ở điều kiện chuẩn. Số liệu được thu thập và xử lý bằng phần mềm OMNIC 5a.

## 3. Kết quả và bàn luận

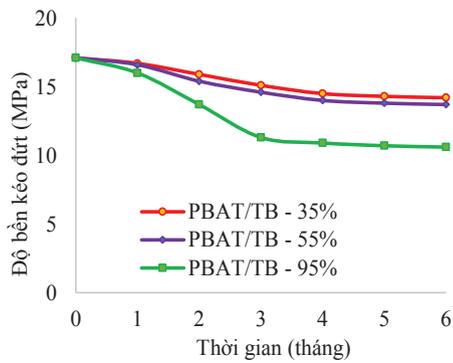
### 3.1. Ảnh hưởng của độ ẩm môi trường

Để đánh giá ảnh hưởng của độ ẩm môi trường đến các tính chất của polyme blend, tiến hành bảo quản mẫu trong tủ thử nghiệm nhiệt độ - độ ẩm Vision Tec (Hàn Quốc) ở nhiệt độ 25°C, độ ẩm môi trường thay đổi 35, 55 và 95%.

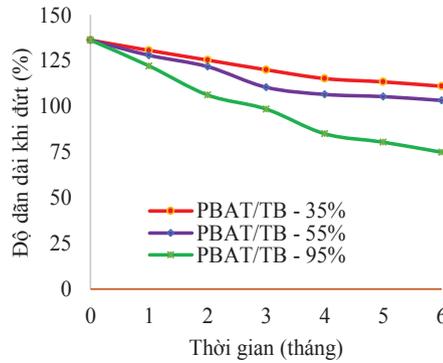
*Ảnh hưởng của độ ẩm môi trường đến hàm lượng ẩm:* Hàm lượng ẩm của mẫu polyme blend PBAT/TB khi độ ẩm của môi trường khác nhau được tổng hợp trong bảng 1.

**Bảng 1. Hàm lượng ẩm của mẫu polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng khi độ ẩm môi trường khác nhau.**

Thời gian (tháng)	Độ ẩm (%)		
	35	55	95
0	0,51	0,51	0,51
1	1,52	1,62	1,68
2	1,72	2,18	1,95
3	1,85	2,20	2,28
4	1,96	2,21	2,49
5	1,97	2,21	2,50
6	1,98	2,22	2,50

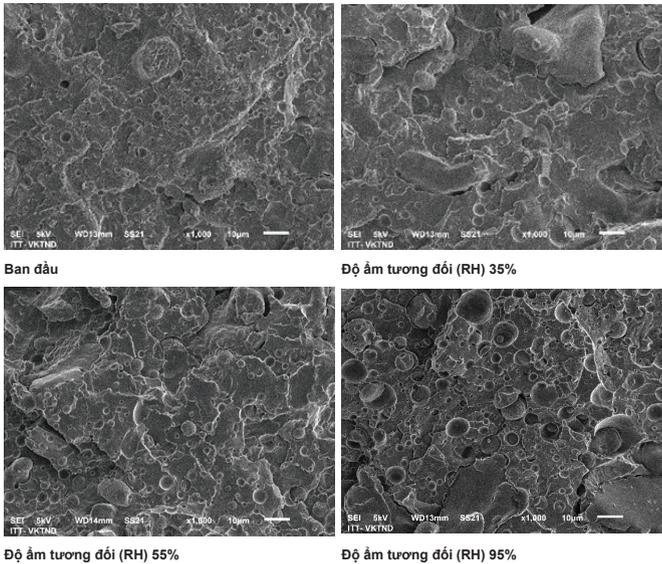


**Hình 1.** Độ bền kéo đứt của mẫu polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột đồng riêng ở các độ ẩm môi trường khác nhau theo thời gian.



**Hình 2.** Độ dẫn dài khi đứt của mẫu polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột đồng riêng ở các độ ẩm môi trường khác nhau theo thời gian.

đeo bởi nước được hấp thụ, do đó làm suy yếu cấu trúc của vật liệu. Sự thay đổi không thể đảo ngược trong cấu trúc polyme dẫn đến mức độ trùng hợp thấp hơn cũng ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền của vật liệu. Ngoài ra, sự có mặt của nước cũng dẫn đến quá trình thủy phân của tinh bột và PBAT. Trong 3 tháng đầu, độ bền kéo đứt giảm nhanh chóng. Giai đoạn này phản ánh sự hấp thụ độ ẩm nhanh chóng ở giai đoạn đầu. Sau giai đoạn này, độ bền kéo của các mẫu ở độ ẩm 35 và 55% hầu như không thay đổi, trừ mẫu ở độ ẩm cao (95%) độ bền kéo đứt vẫn tiếp tục giảm.



**Hình 3.** Ảnh kính hiển vi điện tử quét bề mặt gãy của polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột đồng riêng sau 6 tháng tại các độ ẩm khác nhau.

Kết quả cho thấy, hàm lượng ẩm của các vật liệu tăng lên khi độ ẩm tương đối của môi trường tăng. Trong 3 tháng đầu hàm lượng ẩm của các mẫu tăng nhanh chóng, sau chậm dần và gần như không đổi, cho thấy trạng thái cân bằng giữa vật liệu và độ ẩm môi trường xung quanh. T. Ke và cs (2001) [8] và V.K. Holm và cs (2006) [9] cũng quan sát thấy hiện tượng tương tự. Kết quả cũng cho thấy, độ ẩm của môi trường càng cao thì hàm lượng ẩm của các mẫu càng lớn.

*Ảnh hưởng của độ ẩm môi trường đến tính chất cơ học:* Tính chất cơ học là một trong các yếu tố phản ánh độ bền của polyme blend. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của độ ẩm tương đối đến độ bền kéo đứt và độ giãn dài khi đứt của các mẫu polyme blend được thể hiện trên hình 1 và 2.

Nước ảnh hưởng đến tính chất cơ lý thông qua ít nhất ba cơ chế. Các vùng vô định hình của PBAT có thể được hóa

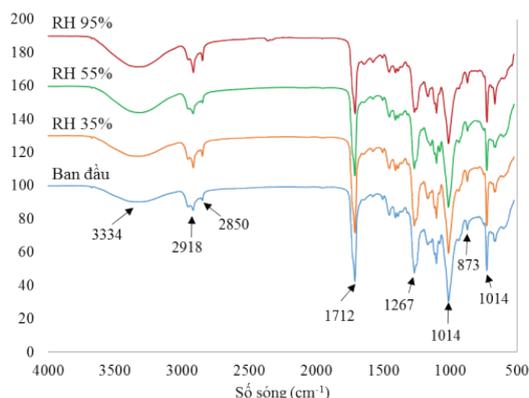
Độ dẫn dài khi đứt là thước đo độ giòn của vật liệu. Độ dẫn dài khi đứt của polyme blend PBAT/TB mất 18-45% so với ban đầu. Độ dẫn dài khi đứt của các mẫu giảm chứng tỏ độ giòn của vật liệu tăng lên. Điều này là do quá trình thủy phân của các phân tử PBAT làm thay đổi sự phân bố kích thước, tạo ra các đoạn mạch ngắn hơn. Ngoài ra, còn xảy ra hiện tượng kết tinh lại của các phân tử tinh bột làm suy yếu dẫn tương tác bề mặt giữa polyeste và tinh bột.

*Ảnh hưởng của độ ẩm môi trường đến hình thái học bề mặt:* Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) bề mặt gãy của mẫu polyme blend PBAT/TB ở các độ ẩm khác nhau sau 6 tháng được thể hiện trên hình 3. Quan sát ảnh SEM của các mẫu thấy rằng, ở độ ẩm 35-55%, bề mặt gãy của các mẫu sau 6 tháng thay đổi không nhiều. Tuy nhiên ở độ ẩm 95%, bề mặt gãy xuất hiện các vết lõm với kích thước to hơn, xuất hiện sự phân pha giữa tinh bột và nền nhựa PBAT chứng tỏ kết dính bề mặt giữa tinh bột và PBAT giảm. Điều này là do ở độ ẩm cao, các hạt tinh bột đã hút ẩm và trương nở làm suy yếu dẫn tương tác bề mặt giữa tinh bột và nền nhựa PBAT [10].

*Ảnh hưởng của độ ẩm môi trường đến cấu trúc của vật liệu:* Phổ IR của mẫu polyme blend PBAT/TB sau 6 tháng bảo quản ở các độ ẩm khác nhau được thể hiện trên hình 4.

Trên phổ IR của các mẫu đều xuất hiện pic ở  $3334\text{ cm}^{-1}$ , đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm  $\text{-OH}$  (nhóm  $\text{-OH}$  tự do, nhóm  $\text{-OH}$  liên kết nội phân tử và liên phân tử) của tinh bột. Pic  $2918$  và  $2850\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động hóa trị đối xứng và bất đối xứng của nhóm  $\text{-CH}_2$ . Pic  $1711$  và  $1267\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm  $\text{C=O}$  và  $\text{C-O}$  trong este thơm của PBAT [11, 12]. Các pic  $727$ ,  $873$  và  $1014\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động biến dạng của vòng phenyl trong PBAT. Sau 6 tháng bảo quản ở các độ ẩm khác nhau, vị trí các pic đặc trưng không đổi nhưng cường độ pic đặc trưng cho nhóm  $\text{-OH}$  tăng còn cường độ pic đặc trưng cho nhóm  $\text{-C=O}$  giảm. Độ ẩm môi trường tăng thì cường độ

pic 3334  $\text{cm}^{-1}$  tăng và cường độ pic 1711  $\text{cm}^{-1}$  giảm, đặc biệt là ở mẫu bảo quản ở độ ẩm 95%. Cường độ nhóm -OH tăng là do sự hút ẩm của vật liệu. Mẫu bảo quản ở 95% cường độ pic đặc trưng cho nhóm -C=O giảm mạnh là do sự phân hủy của PBAT, các liên kết este trong PBAT bị phân cắt tạo thành các đoạn mạch ngắn hơn.



Hình 4. Phổ hồng ngoại của mẫu polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng ban đầu và sau 6 tháng bảo quản ở các độ ẩm khác nhau.

### 3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến tính chất của polyme blend, tiến hành bảo quản mẫu trong tủ thử nghiệm nhiệt độ - độ ẩm Vision Tec (Hàn Quốc) ở độ ẩm 55%, nhiệt độ môi trường thay đổi ở 10, 25 và 40°C.

**Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hàm lượng ẩm:** Hàm lượng ẩm của mẫu polyme blend PBAT/TB khi thay đổi nhiệt độ môi trường được tổng hợp trong bảng 2.

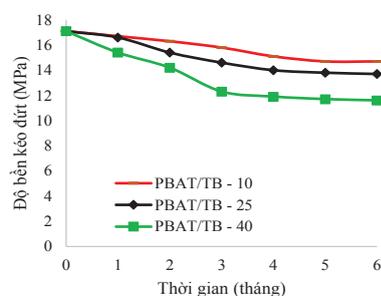
Bảng 2. Hàm lượng ẩm của mẫu polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng khi thay đổi nhiệt độ môi trường.

Thời gian (tháng)	Nhiệt độ (°C)		
	10	25	40
0	0,51	0,51	0,51
1	1,56	1,62	1,64
2	1,79	2,18	1,83
3	1,88	2,20	1,97
4	1,96	2,21	2,02
5	2,01	2,21	2,08
6	2,02	2,22	2,09

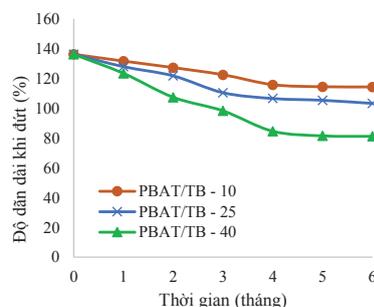
Kết quả cho thấy, ở cùng độ ẩm tương đối và thời gian, lượng nước vật liệu polyme blend hấp thụ ở 25°C nhiều hơn ở 10°C. Điều này là do ở khoảng nhiệt độ này, sự hấp thụ hơi ẩm có thể được thúc đẩy bởi quá trình thủy phân, nên sự phụ thuộc vào nhiệt độ được đặc trưng bởi năng lượng kích hoạt dương, dẫn đến độ ẩm của các mẫu tăng khi nhiệt độ cao hơn. Tuy nhiên, khi nhiệt độ bảo quản lên đến 40°C thì độ ẩm của các mẫu ở nhiệt độ này lại thấp hơn so với 25°C. Điều này là do hầu hết các loại thực phẩm và vật liệu sinh học có

thể được đặc trưng bởi nhiệt hấp thụ âm [13] dẫn đến đường đẳng nhiệt hấp thụ độ ẩm cân bằng của nhiệt độ thấp nằm trên đường đẳng nhiệt của nhiệt độ cao. Điều này có nghĩa vật liệu thường hấp thụ nhiều nước hơn ở nhiệt độ thấp hơn.

**Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tính chất cơ học:** Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến độ bền kéo đứt và độ giãn dài khi đứt của các mẫu polyme blend được thể hiện trên hình 5 và 6.



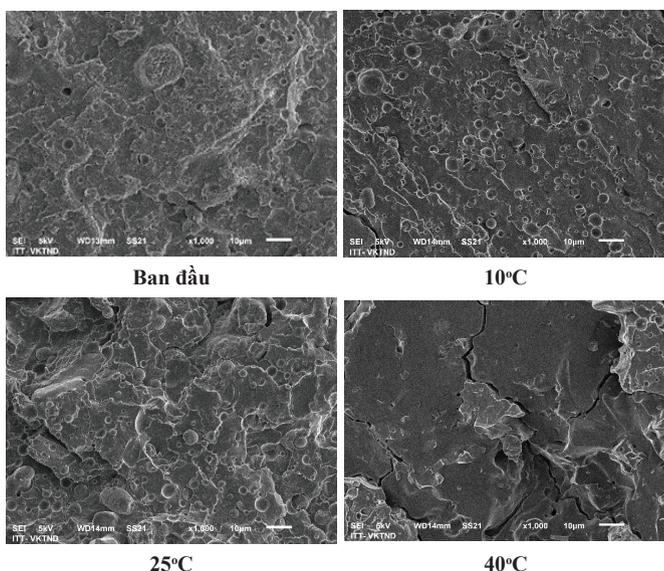
Hình 5. Độ bền kéo đứt của polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng ở các độ ẩm môi trường khác nhau theo thời gian.



Hình 6. Độ giãn dài khi đứt của polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng ở các độ ẩm môi trường khác nhau theo thời gian.

Kết quả cho thấy, tính chất cơ học của các mẫu polyme blend giảm theo thời gian đặc biệt giảm mạnh ở 3 tháng đầu. Điều này là do tác động của nước khi các mẫu polyme blend hút ẩm. Như đã biết, sự hấp thụ nước của polyme blend polyester/TB chủ yếu là do tinh bột. Sự hydrat hóa và dehydrat hóa (trương lên và co lại) của tinh bột gây ra bởi sự thay đổi độ ẩm sẽ dẫn làm suy yếu tương tác liên pha giữa PBAT - tinh bột, dẫn đến sự suy giảm tính chất cơ học khi quá trình lão hóa diễn ra. Kết quả còn cho thấy, nhiệt độ càng cao thì tính chất cơ lý giảm càng nhanh. Điều này là do dưới tác động của nhiệt độ, các mạch polyme bị phân hủy nhiệt thành các đoạn mạch ngắn hơn. Nhiệt độ càng cao thì quá trình phân hủy nhiệt diễn ra càng nhanh dẫn đến giảm tính chất cơ học.

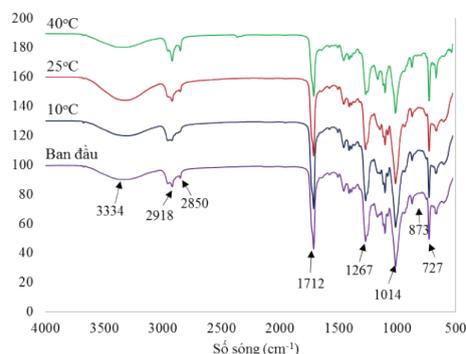
**Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hình thái học bề mặt:** Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến hình thái học bề mặt của các mẫu polyme blend khi bảo quản ở các nhiệt độ khác nhau sau 6 tháng được thể hiện trên hình 7. Quan sát ảnh SEM của các mẫu thấy rằng, ở sau 6 tháng bảo quản ở 10 và 25°C, bề mặt gãy của các mẫu thay đổi



**Hình 7.** Ảnh kính hiển vi điện tử quét bề mặt gãy của poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riêng sau 6 tháng tại các nhiệt độ khác nhau.

không nhiều. Tuy nhiên, khi bảo quản ở 40°C, bề mặt gãy của các mẫu polyme blend đã bị biến đổi, bề mặt xuất hiện các vết nứt dài, sự phân pha giữa nền nhựa PBAT và tinh bột quan sát thấy rõ hơn.

Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến cấu trúc của vật liệu: Phổ IR của mẫu polyme blend PBAT/TB sau 6 tháng bảo quản ở các nhiệt độ khác nhau được thể hiện trên hình 8.



**Hình 8.** Phổ hồng ngoại của mẫu polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riêng ban đầu và sau 6 tháng bảo quản ở các nhiệt độ khác nhau.

Tương tự bảo quản ở các điều kiện độ ẩm khác nhau, khi bảo quản mẫu ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau, vị trí các pic đặc trưng của các mẫu không thay đổi. Cường độ pic 3334 $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho nhóm –OH tăng nhẹ là do sự có mặt của nước do mẫu hút ẩm. Cường độ pic đặc trưng cho nhóm –C=O của mẫu được bảo quản ở 10 và 25°C hầu như không thay đổi, nhưng mẫu được bảo quản ở 40°C giảm. Điều này cũng phù hợp với sự thay đổi tính chất cơ lý ở trên, khi bảo quản ở nhiệt độ cao trong thời gia dài các mạch polyme bị phân hủy nhiệt, các liên kết este bị phân cắt.

## 4. Kết luận

Nhiệt độ và độ ẩm môi trường có ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền của polyme blend PBAT/TB. Nhiệt độ cao và độ ẩm cao có thể làm giảm nhanh độ bền của polyme blend PBAT/TB, bề mặt vật liệu xuất hiện các vết lõm, các khe thể hiện sự kết dính bề mặt kém giữa tinh bột và nền nhựa PBAT. Tuy nhiên, trong điều kiện bảo quản được duy trì ở nhiệt độ 10-25°C, độ ẩm 35-55%, polyme blend PBAT/TB vẫn ổn định sau 6 tháng bảo quản, tính chất cơ học giảm không đáng kể so với mẫu ban đầu.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Bộ Khoa học và Công nghệ (đề tài mã số ĐTĐL.CN.07/21). Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Chiellini, R. Solaro (1996), “Biodegradable polymeric materials”, *Advanced Materials*, **8**(4), pp.305-313, DOI: 10.1002/adma.19960080406.
- [2] H.Y. Park, S.S. Kim, S.G. Kim, et al. (2012), “Modification of physical properties of PBAT by using TPS”, *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, **46**, pp.67-71, DOI: 10.7763/IPCBE.2012.
- [3] E. Strauch (2019), *Investigations of The Autocatalytic Hydrolysis of The Biopolymers Poly(Lactic) Acid and Polybutylene Adipate Terephthalate*, Bachelor Thesis, Rhine-Waal University of Applied Sciences.
- [4] A.P. Bonartsev, A.P. Boskhomodgiev, A.L. Iordanskii, et al. (2012), “Hydrolytic degradation of poly(3-hydroxybutyrate), polylactide and their derivatives: Kinetics, crystallinity, and surface morphology”, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, **556**, pp.288-300, DOI: 10.1080/15421406.2012.635982.
- [5] G. Gorrasi, R. Pantani (2017), “Hydrolysis and biodegradation of Poly(lactic acid)”, *Advances in Polymer Science*, **279**, pp.1-33, DOI: 10.1007/12\_2016\_12.
- [6] A.M. Harris, E.C. Lee (2012), “Durability of polylactide-based polymer blends for injection-molded applications”, *Journal of Applied Polymer Science*, **128**(3), pp.2136-2144, DOI: 10.1002/app.38407.
- [7] R. Muthuraj, M. Misra, A.K. Mohanty (2015), “Hydrolytic degradation of biodegradable polyesters under simulated environmental conditions”, *Journal of Applied Polymer Science*, **132**(27), pp.1-13, DOI: 10.1002/app.42189.
- [8] T. Ke, X. Sun (2001), “Effects of moisture content and heat treatment on the physical properties of starch and poly(lactic acid) blends”, *Journal of Applied Polymer Science*, **81**(12), pp.3069-3082, DOI: 10.1002/app.1758.
- [9] V.K. Holm, S. Ndoni, J. Risbo (2006), “The stability of poly(lactic acid) packaging films as influenced by humidity and temperature”, *Journal of Food Science*, **71**(2), pp.40-44, DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.tb08895.x.
- [10] R.A. Moura, X.S. Sun (2008), “Thermal decomposition and physical aging of poly (lactic acid) and its blend with starch”, *Polymer Science & Engineering*, **48**(4), pp.829-836, DOI: 10.1002/pen.21019.
- [11] R.P.H. Brandelero, M.V.E. Grossmann, F. Yamashita (2011), “Effect of the method of production of the blends on mechanical and structural properties of biodegradable starch films produced by blown extrusion”, *Carbohydrate Polymers*, **86**, pp.1344-1350, DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.06.045.
- [12] N. Bumbudsanpharoke, P. Wongphan, K. Promhuad, et al. (2022), “Morphology and permeability of bio-based poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT), poly (butylene succinate) (PBS) and linear low-density polyethylene (LLDPE) blend films control shelf-life of packaged bread”, *Food Control*, **132**, DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108541.
- [13] L.N. Bell, T.P. Labuza (2000), *Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurements*, 2<sup>nd</sup> edition, American Association of Cereal Chemists, 123pp.