

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ, VẬN TỐC, KÍCH THƯỚC KHUÔN TỐI ĐỘ BỀN KÉO CỦA SỢI IN 3D LÀM TỪ CHAI NHỰA

Vương Gia Hải^{1,*}, Lê Thị Lan²,

Nguyễn Thị Quỳnh Anh³, Nguyễn Mạnh Hùng⁴

^{1,2,3}Khoa Công nghệ và Kỹ thuật, Trường Đại học Hải Phòng

⁴Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Hải Phòng

*Email: haivg@dhhp.edu.vn

Ngày nhận bài: 07/7/2025

Ngày nhận bài sửa: 09/8/2025

Ngày duyệt đăng: 04/9/2025

Tóm tắt: Trong bài báo này đề xuất một giải pháp tái chế chai nhựa phế thải thành sợi nhựa sử dụng trong công nghệ in 3D FDM. Quá trình tái chế bắt đầu bằng việc làm sạch chai nhựa, sau đó gá lên hệ thống kéo sợi. Tại đây, chai được cắt thành các dải nhựa bằng cụm dao cắt, rồi được đưa qua cụm tạo sợi để định hình thành sợi in đạt tiêu chuẩn kích thước. Trong quá trình chế tạo sợi từ chai nhựa tái chế, ba yếu tố công nghệ chính: nhiệt độ nung, chiều dài khuôn và tốc độ kéo đóng vai trò then chốt trong việc quyết định chất lượng sợi. Nghiên cứu đã áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi để phân tích mức độ ảnh hưởng của các thông số này đến độ bền của sợi, từ đó xác định được tổ hợp tham số tối ưu. Cuối cùng, nhóm nghiên cứu đã sử dụng sợi in tạo ra in thử nghiệm một số sản phẩm như: đồ trang trí, vật dụng lưu niệm và mô hình học cụ phục vụ giảng dạy.

Từ khóa: FDM, in 3D, nhiệt độ, Taguchi, tái chế.

STUDY ON THE INFLUENCE OF TEMPERATURE, DRAWING VELOCITY AND NOZZLE SIZE ON THE TENSILE STRENGTH OF 3D PRINTING FILAMENT FROM PET BOTTLES

Abstract: This paper proposes a solution for recycling waste plastic bottles into filament suitable for Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing. The recycling process begins with purification phase the plastic bottles, which are then mounted onto a filament drawing system. In this system, the bottles are cut into plastic strips using a cutting module, and subsequently fed through a filament-forming unit to produce standardized 3D printing filament. The tensile strength of the filament is a critical parameter that directly affects the mechanical performance of the final printed products. During the filament production process from recycled plastic bottles, three key technological factors: heating temperature, nozzle geometry, and drawing velocity

play a decisive role in determining filament quality. The study employs the Taguchi experimental design method to evaluate the influence of these parameters on filament strength and to identify the optimal combination of process variables. Finally, the research team used the produced filament to 3D print test products such as decorative items, souvenirs, and educational models for teaching purposes.

Keywords: FDM, 3D printing, temperature , Taguchi, recycling.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển mạnh mẽ của các ngành khoa học và công nghệ trong những năm gần đây đã góp phần thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và nâng cao chất lượng cuộc sống. Tuy nhiên, song song với tiến trình đó là sự gia tăng đáng kể về ô nhiễm môi trường, đặc biệt là ô nhiễm do chất thải nhựa. Nhựa phế thải đang nổi lên như một thách thức toàn cầu nghiêm trọng, với khối lượng thải ra môi trường mỗi năm đủ để phủ kín bề mặt Trái Đất nhiều lần. Theo thống kê, khoảng 13 triệu tấn rác thải nhựa bị xả trực tiếp ra đại dương mỗi năm trên toàn thế giới [1]. Tại Việt Nam, vấn đề chất thải nhựa đang trở nên đáng báo động. Số liệu từ Bộ Tài nguyên và Môi trường cho thấy mỗi năm, quốc gia này phát sinh khoảng 1,8 triệu tấn rác thải nhựa, trong đó từ 0,28 đến 0,73 triệu tấn được đổ ra biển [1]. Dù vậy, chỉ khoảng 27% lượng chất thải này được thu hồi và tái chế bởi các tổ chức và doanh nghiệp. Phần lớn rác thải nhựa vẫn đang được xử lý bằng phương pháp chôn lấp và đốt, với tỷ lệ tái chế chỉ chiếm khoảng 10%. Xu hướng phát sinh chất thải nhựa tại Việt Nam đang gia tăng nhanh chóng, từ 1,8 triệu tấn/năm vào năm 2014, lên 2,0 triệu tấn/năm vào năm 2016, và đạt khoảng 3,27 triệu tấn/năm trong thời điểm hiện tại. Ước tính, lượng rác thải nhựa xả ra biển hàng năm chiếm gần 6%

tổng lượng thải toàn cầu. Trung bình mỗi hộ gia đình tại Việt Nam sử dụng khoảng 1kg túi nilon mỗi tháng. Riêng tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh, khối lượng rác thải nhựa và túi nilon thải ra mỗi ngày lên đến 80 tấn. Hiện trạng phân loại, thu gom, tái chế và xử lý chất thải nhựa vẫn còn nhiều bất cập. Rác thải nhựa và túi nilon chiếm khoảng 8-12% tổng khối lượng chất thải rắn sinh hoạt, tuy nhiên chỉ khoảng 11-12% được xử lý theo hướng tái chế. Phần lớn còn lại vẫn bị chôn lấp, đốt hoặc thải bỏ ra môi trường, tiềm ẩn nguy cơ gây ra thảm họa môi trường, đặc biệt là ô nhiễm đại dương nghiêm trọng [1].

Hiện nay, thành phố Hải Phòng đang phải xử lý khoảng 2.000 tấn chất thải rắn mỗi ngày, trong đó bao gồm lượng lớn rác thải nhựa và túi nilon. Cụ thể, chất thải sinh hoạt phát sinh từ khu vực đô thị chiếm khoảng 1.100 tấn/ngày, trong khi khu vực nông thôn phát sinh khoảng 600 tấn/ngày [2]. Phần còn lại là chất thải rắn từ công nghiệp, nông nghiệp, xây dựng và chất thải y tế nguy hại. Khối lượng rác thải lớn và đa dạng đang đặt ra áp lực nghiêm trọng đối với hệ thống xử lý, gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và chất lượng sống của người dân.

Tại Việt Nam nói chung và Hải Phòng nói riêng, các phương pháp xử lý rác thải đang được áp dụng bao gồm chôn

lắp hợp vệ sinh, đốt, và tái chế. Tuy nhiên, các phương án này vẫn chưa giải quyết triệt để được vấn đề ô nhiễm môi trường, đặc biệt là ô nhiễm do rác thải nhựa gây ra. Trước thực trạng đó, nhóm nghiên cứu đã đề xuất một hướng tiếp cận mới: tái chế chai nhựa phế thải thành sợi nhựa phục vụ cho công nghệ in 3D - một lĩnh vực đang ngày càng phát triển và ứng dụng rộng rãi trong sản xuất hiện đại.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Công nghệ in 3D (AM) đã ra đời và phát triển trở thành một giải pháp đầy hứa hẹn, ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, từ sản xuất công nghiệp cho đến y tế, giáo dục và nghệ thuật [3], [4]. Các quy trình này giúp chế tạo nhanh chóng các chi tiết máy, các cụm chi tiết có các chức năng khác nhau với thời gian thực hiện ngắn hơn và giảm chi phí nghiên cứu và phát triển [5], [6]. Độ bền của các sản phẩm in 3D phụ thuộc vào nhiều thông số khác nhau, nhưng một trong những thông số ảnh hưởng rất lớn đến độ bền sản phẩm đó là chất lượng của chỉ in 3D.

Trước thực trạng rác thải nhựa ngày càng trở thành một thảm họa của nhân loại, việc tái chế các chai nhựa thành nguyên liệu đầu vào cho công nghệ in 3D là một việc làm hết sức cần thiết và có ý nghĩa. Nikam và cộng sự [7] đã khám phá khả năng sản xuất sợi 3DP bền vững bằng cách tái chế chai Polyethylene terephthalate (PET), sử dụng vòi phun và khối gia nhiệt có đường kính 1,6 mm để kiểm soát nhiệt độ chính xác, đạt được đường kính sợi 1,65 mm đồng nhất và sử dụng công cụ phân tích phần tử hữu hạn (FEA) là SolidWorks để so sánh các tính chất cơ học với vật liệu

axit polylactic (PLA) thông thường. Các phát hiện này cung cấp cái nhìn mới hơn về việc tái chế chai PET như là một giải pháp thay thế 3DP thân thiện với môi trường, giảm rác thải nhựa và thúc đẩy tính bền vững trong AM.

Trong nghiên cứu này, phương pháp quy hoạch Taguchi đã được sử dụng nhằm khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ như: Nhiệt độ đầu kéo, kích thước khuôn và vận tốc kéo khi chế tạo sợi in 3D là từ chai nhựa tái chế. Với mục đích chính là tăng độ bền của sợi in 3D được tạo ra, các thí nghiệm kéo sợi thực hiện theo ba cấp độ cho mỗi yếu tố thông qua mảng trực giao Taguchi L9 (3^3)[8].

Sợi in 3D được tạo ra từ bộ tham số tối ưu đã được sử dụng để in một số các sản phẩm như: đồ lưu niệm, vật trang trí hay các dụng cụ học tập và giảng dạy. Kết quả của nghiên cứu mở ra một hướng đi tiềm năng cho việc tái chế các chai nhựa phế thải, một trong những nguồn gây ô nhiễm rác thải nhựa hiện nay.

3. VẬT LIỆU VÀ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

3.1. Vật liệu

Vật liệu được sử dụng cho nghiên cứu này là can nhựa 5 lít dùng đựng nước lọc lavie làm từ loại nhựa PET (Polyethylene Terephthalate) Hình 1.



Hình 1. Can đựng 5l nước Lavie được làm từ nhựa PET [7]

3.2. Xây dựng mô hình thực nghiệm

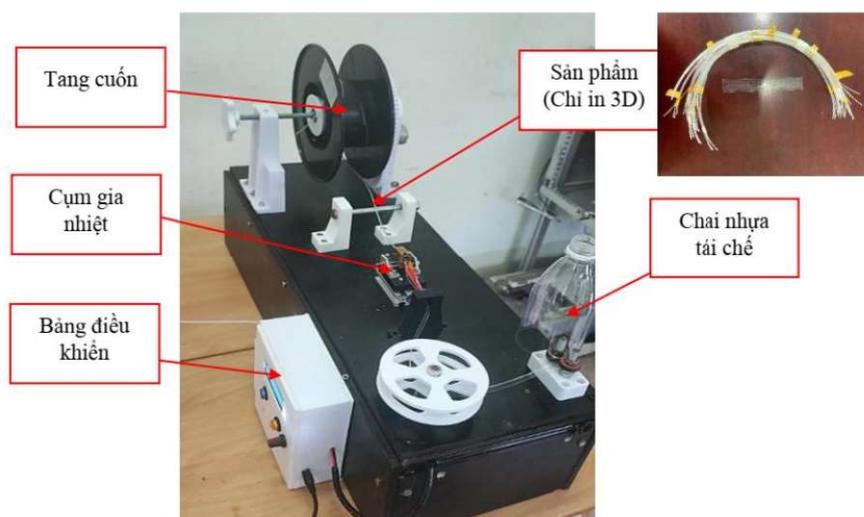
Các chai nhựa đã qua sử dụng sẽ được làm sạch và sấy khô trước khi đưa vào hệ thống chế tạo chỉ in 3D. Chai nhựa phế thải sau khi gá lên hệ thống kéo sợi, qua cụm dao cắt được cắt thành dải nhựa, dải nhựa vừa cắt sẽ đưa qua mà kéo sợi tạo thành sợi chỉ theo tiêu chuẩn

Hình 2. Nhiệt độ của quá trình tạo sợi in 3D luôn được giữ ổn định nhờ bộ điều khiển nhiệt độ. Đường kính của chỉ in được thay đổi nhờ kích thước của khuôn kéo. Trong nghiên cứu này sử dụng khuôn có đường kính lỗ kéo $d = 1,75\text{mm}$.

Thông số kỹ thuật của hệ thống chế tạo chỉ in 3D từ chai nhựa tái chế được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của hệ thống chế tạo chỉ in 3D từ chai nhựa tái chế

Đặc tính kỹ thuật	Thông số
Kích thước máy: Dài x Rộng x cao (mm)	666x226x150
Đường kính sợi kéo (nhỏ nhất và lớn nhất)	Đường kính nhỏ nhất :1.73mm Đường kính lớn nhất : 1.75mm
Động cơ tang cuốn (công suất, số vòng quay)	DC giảm tốc JGY370 (12V 45rpm)
Nhiệt độ gia nhiệt lớn nhất ($^{\circ}\text{C}$)	260
Tốc độ kéo sợi (nhỏ nhất, lớn nhất)	-Tốc độ nhỏ nhất (5mm/s) -Tốc độ lớn nhất (11mm/s)
Loại chai nhựa có thể kéo sợi	lavie, 7 Up, nước khoáng, trà xanh,...



Hình 2. Hệ thống chế tạo sợi in 3D từ chai nhựa tái chế

Chỉ in 3D sau khi chế tạo được kiểm tra độ bền bằng phương pháp thử kéo. Giá trị lực kéo thu được nhờ

cân đo lực Hình 3 3. Thông số kỹ thuật của cân đo lực được trình bày trong Bảng 2

Bảng 2. Thông số kỹ thuật cân đo lực điện tử Crane scale

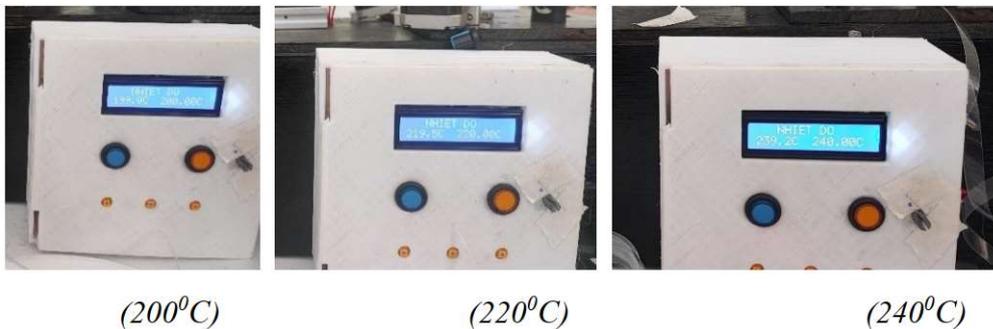
Đặc tính kỹ thuật	Thông số
Kích thước máy: Dài x Rộng x cao (mm)	28,5x7,9x3,5
Đơn vị đo	KG, Lb, N
Khối lượng cân: lớn nhất/nhỏ nhất	200kg/50g
Độ chính xác (%)	0,04
Màn hình hiển thị	LCD



Hình 3. Cân đo lực điện tử

4. Quy hoạch thực nghiệm theo mảng trực giao Taguchi

Mục đích của nghiên cứu này là điều chỉnh các thông số đầu vào để kiểm soát thông số đầu ra theo mong muốn. Do đó, phương pháp Taguchi đã được lựa chọn sử dụng cho phép tối thiểu các thí nghiệm cần thiết để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số lên một đặc tính đầu ra và nhanh chóng điều chỉnh các thông số đầu vào tiến đến tối ưu nhanh nhất giá trị đầu ra [8].



Hình 4. Ba mức nhiệt độ thực nghiệm

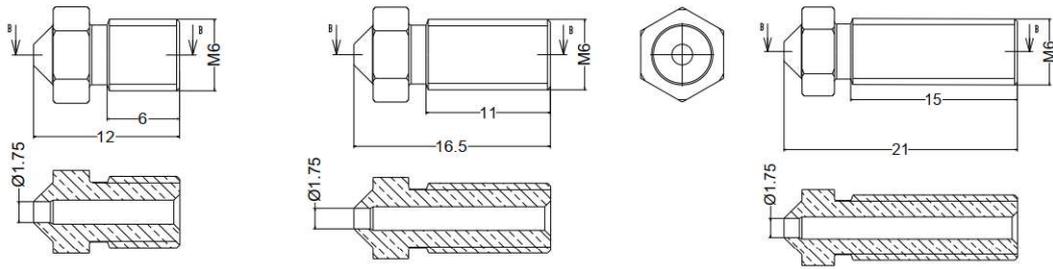
Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của các tham số: Nhiệt độ đầu kéo (0C) Hình 4, chiều dài khuôn kéo (mm) Hình 5 và vận tốc kéo chỉ (mm/s) Hình 7 đến độ bền của chỉ in 3D làm từ chai nhựa tái chế. Bộ ba thông số được lựa chọn với ba mức giá trị khác nhau được cho trong Bảng 3. Tỷ lệ nhiễu S/N được lựa

chọn theo điều kiện lớn hơn thì tốt hơn (phương trình 1).

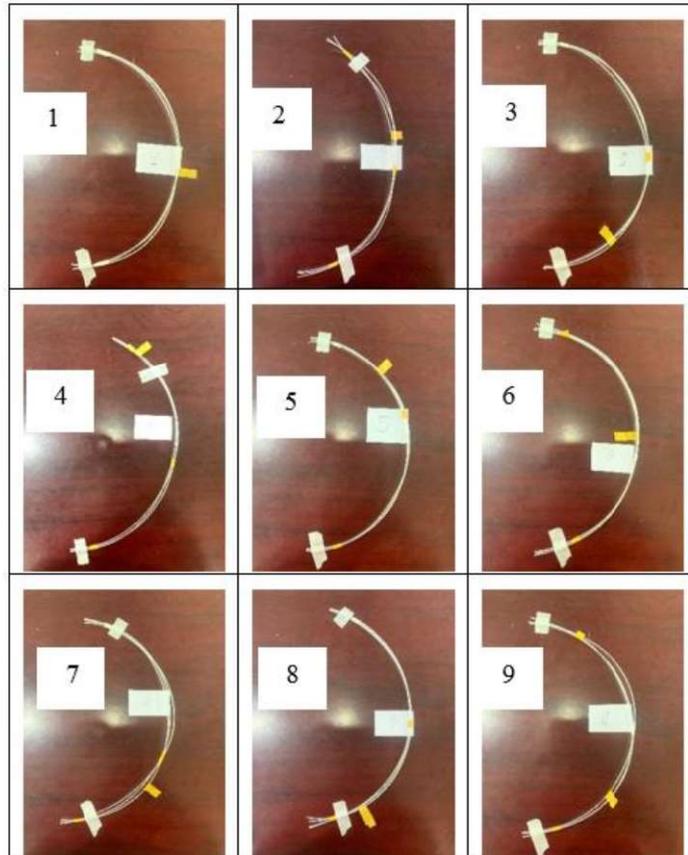
$$S/N = -10\log_{10}(MSD) \quad (1)$$

$$MSD = \frac{(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2)}{n} \quad (2)$$

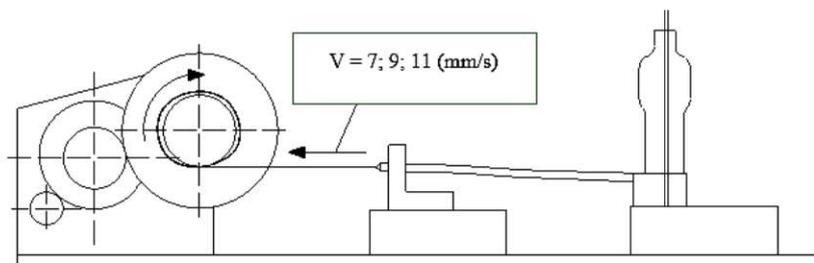
Trong đó MSD là độ lệch bình phương trung bình so với giá trị đích của đặc tính chất lượng; y_1, y_2, \dots, y_n , n là kết quả đo và số thí nghiệm tương ứng.



Hình 5. Kích thước khuôn kéo sợi in 3D



Hình 6. Các mẫu chi in 3D chế tạo theo qui hoạch thực nghiệm Taguchi



Hình 7. Vận tốc kéo thực nghiệm

Bảng 3. Các tham số công nghệ dùng cho qui hoạch thực nghiệm

Parameters	Level		
	1	2	3
A (T - Nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$))	200	220	240
B (V - Vận tốc kéo (mm/s))	7	9	11
C (L - Chiều dài khuôn kéo (mm))	12	16,5	21

Sau khi thiết lập điều kiện cho các thí nghiệm tương ứng, nghiên cứu đã tiến hành $9 \times 3 = 27$ thí nghiệm (3 thí nghiệm cùng một bộ thông số công nghệ) Bảng 3. Từ đó tìm ra giá trị lực kéo trung bình của 9 mức thí nghiệm đã xây dựng theo qui hoạch thực nghiệm Taguchi.

Quá trình thực nghiệm đo độ bền kéo được thực hiện như sau: Trước tiên tiến hành cố định một đầu của sợi in, đầu còn lại của sợi in được nối với một đầu của cân đo lực điện tử Crane scale. Đầu còn lại của cân đo lực điện tử được kết nối

với máy kéo, sau khi lắp đặt sẵn sàng, máy kéo sẽ kéo từ từ sợi nhựa tới khi đứt, giá trị lực kéo lớn nhất sẽ được cân đo điện tử lưu lại.

Kết quả thử kéo cho $9 \times 3 = 27$ mẫu thí nghiệm theo Taguchi L9 (3×3) được trình bày trong Bảng 4. Ảnh hưởng của các tham số: Nhiệt độ (A(T)), vận tốc kéo (B(V)) và chiều dài khuôn (C(L)) đến độ bền của sợi in 3D được tính toán và phân tích phương sai (Anova) như trong Bảng 5.



Hình 8. Thực nghiệm thử kéo xác định độ bền của chỉ in 3D

Bảng 4. Kết quả đo và tỷ số S/N theo L9

STT	A(T)	B(V)	C(L)	P _K (N)				S/N
				Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Trung bình	
1	1(200)	1(7)	1(12)	280	250	271	267	48.5302
2	1(200)	2(9)	2(16.5)	288	284	298	290	49.2480

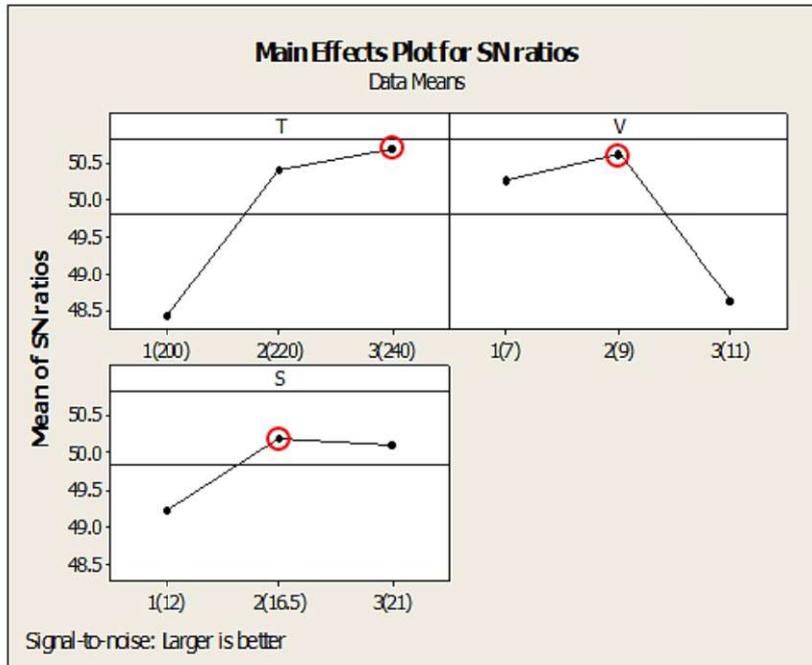
STT	A(T)	B(V)	C(L)	P _K (N)				S/N
				Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Trung bình	
3	1(200)	3(11)	3(21)	236	240	232	236	47.4582
4	2(220)	1(7)	2(16.5)	350	378	358	362	51.1261
5	2(220)	2(9)	3(21)	380	390	388	386	51.7317
6	2(220)	3(11)	1(12)	246	259	272	259	48.2660
7	3(240)	1(7)	3(21)	358	354	362	358	51.0777
8	3(240)	2(9)	1(12)	340	354	350	348	50.8316
9	3(240)	3(11)	2(16.5)	310	335	318	321	50.1301

Bảng 5. ANOM and ANOVA table of data affecting the ductile fracture value

Factor	Average by Level			Sum of squares	D.O.F	Sum of mean squares	Contribution (%)
	1	2	3				
A (T)	48.41	50.39	50.68*	11216.9	2	5608.4	49.80
B(V)	50.26	50.60*	48.62	8208.2	2	4104.1	36.44
C (L)	49.21	50.18*	50.09	2342.9	2	1171.4	10.40
Error				754.9	2	377.4	3.35
Total				22522.9	8		100

Nghiên cứu này tiến hành xử lý số liệu thực nghiệm bằng phần mềm MINITAB16. Với 3 thông số nhiệt độ đầu kéo A(T), vận tốc kéo sợi B(V) và chiều dài khuôn C(L). Mỗi một thông số sẽ có 3 mức tác động như sau: Nhiệt độ (200°C, 220°C, 240°C); Vận tốc kéo (7 mm/s, 9mm/s, 11mm/s); Chiều dài khuôn (12 mm; 16,5mm; 21mm). Phần mềm này cho phép lựa chọn quy hoạch Taguchi L9 (3³) với 9 thí nghiệm (Bảng 4) như là một quy hoạch chuẩn. Phân tích phương sai Anova (Bảng 5)

cho ta kết quả như sau: Ảnh hưởng của nhiệt độ tới độ bền của sợi in 3D chiếm 49,8%, ảnh hưởng của vận tốc kéo là 36,44%, ảnh hưởng của chiều dài khuôn là 10,4%. Các yếu tố gây nhiễu khác ảnh hưởng 3,35%. Kết quả này cho ta thấy ảnh hưởng của nhiệt độ, vận tốc kéo tới độ bền sợi in là lớn nhất (hai thông số này chiếm tới 86,5%), tức là ảnh hưởng của thông số còn lại (C(L)) thấp hơn nhiều. Điều này cũng hoàn toàn đúng với lý thuyết và kiểm nghiệm trong thực tế.



Hình 9. Biểu đồ ảnh hưởng của các tham số tới độ bền của sợi in 3D làm từ chai nhựa tái chế

Sau khi xây dựng mô phỏng theo quy hoạch Taguchi L9 (3^3), ta thu được kết quả (Hình 9). Ứng với kết quả này (theo công thức 2) xét theo các yếu tố đơn lẻ ta thấy rằng: Giá trị nhiệt độ $A(T) = 240^{\circ}\text{C}$; giá trị vận tốc kéo $B(V) = 9\text{mm/s}$ và giá trị chiều dài khuôn $C(L) = 16.5\text{mm}$ thì độ bền của sợi in 3D làm từ chai nhựa tái chế sẽ có giá trị lớn nhất. Do vậy bộ thông số lựa chọn theo các thông số $A(T)$, $B(V)$ và $C(L)$ đưa ra (9 thông số) là: $A3B2C2(240^{\circ}\text{C}, 9\text{mm/s}, 16.5\text{mm})$. Đây là bộ thông số tối ưu nhất thu được từ 09 thí

nghiệm xây dựng theo qui hoạch thực nghiệm Taguchi.

Sau khi xác định bộ tham số tối ưu nhất để chỉ in 3D làm từ chai nhựa tái chế có độ bền cao nhất, nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm chế tạo sợi in 3D với bộ tham số công nghệ tối ưu trên ($A3B2C2(240^{\circ}\text{C}, 9\text{mm/s}, 16.5\text{mm})$). Kết quả thực nghiệm thử kéo mẫu sợi in được trình bày trong Bảng 6. Kết quả cho thấy bộ tham số lựa chọn từ qui hoạch thực nghiệm cho độ bền lớn nhất như lý thuyết tính toán.

Bảng 6. Kết quả khi kéo sợi in 3D với bộ tham số tối ưu được chọn

$T(^{\circ}\text{C})$	$V(\text{mm/s})$	$L(\text{mm})$	$P(\text{N})$	Hình ảnh thực nghiệm
240	9	16.5	390	

5. Thực nghiệm in một số sản phẩm từ sợi in 3D làm từ chai nhựa tái chế

Từ bộ tham số công nghệ tìm được ở Mục 4 trên, nhóm nghiên cứu đã tạo sợi in 3D từ chai nhựa tái chế và dùng để in

một số đồ lưu niệm, vật trang trí và mô hình giảng dạy. Các sản phẩm được in trên máy in 3D FDM ELEGOO NEPTUNE 3 PLUS, thông số kỹ thuật của máy như trong Bảng 7. Nhiệt độ in là 250⁰C, nhiệt độ bàn in là 68⁰C.

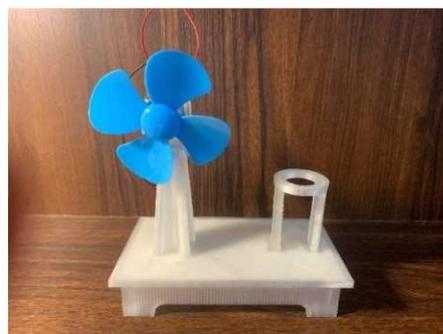
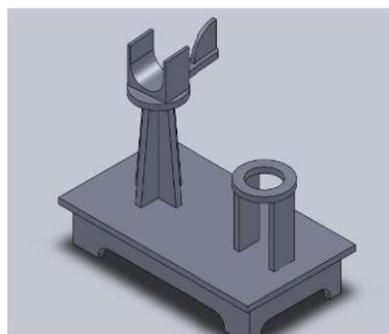
Bảng 7. Thông số kỹ thuật của máy in Elegoo Neptune 3 Plus

Tên Sản Phẩm	Elegoo Neptune 3 Plus
Mã Sản Phẩm:	E-M-NEPTUNE3PLUS
Phần mềm Slicer:	Cura, PrusaSlicer, Simplify3D, Repetier-Host
Công nghệ:	FDM
Giao diện điều khiển:	Màn hình LCD
Kết nối:	In thẻ TF ngoại tuyến, in trực tuyến
Mã Sản Phẩm:	E-M-NEPTUNE3PLUS
Khổ In:	320X320X400(mm ³)
Yêu cầu nguồn:	100-240V 50/60Hz
Kích thước máy in:	533*517*638mm
Cân nặng:	14,2kg

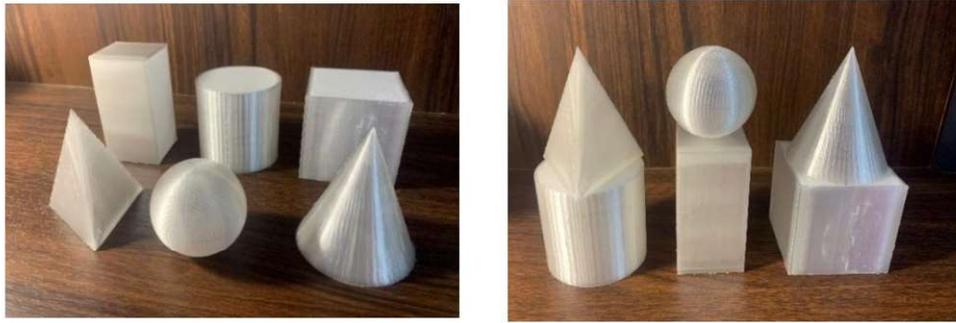
Các sản phẩm được in từ chỉ in 3D chế tạo từ chai nhựa tái chế với bộ tham số tối ưu đã tìm được.



Hình 10. Quá trình in một số sản phẩm dùng sợi in 3D làm từ chai nhựa tái chế bằng máy in FDM Elegoo Neptun Plus



Hình 11. Mô hình điện gió dùng trong giảng dạy môn Vật lý



Hình 15. Hình khối dùng trong học toán hình không gian



Hình 16. Một số đồ trang trí

6. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm kéo sợi in 3D từ chai nhựa tái chế. Xây dựng quy hoạch thực nghiệm Taguchi L9 (3^3) quá trình kéo sợi in 3D với các thông số công nghệ: nhiệt độ khuôn, vận tốc kéo, chiều dài khuôn thay đổi đã được tiến hành để đánh giá ảnh hưởng của các tham số đầu vào đến độ bền của sợi in 3D. Kết quả thực nghiệm và phân tích số liệu đã chỉ ra rằng điều kiện kéo sợi in 3D: nhiệt độ kéo 240°C , vận tốc kéo 9mm/s và chiều dài khuôn là 21mm sẽ cho giá trị độ bền sợi in là lớn nhất $P = 390\text{N}$. Phân tích Anova cho thấy rằng trong ba tham số công nghệ A(T), B(V) và C(L) thì tham số A(T) và B(V) có ảnh hưởng lớn hơn nhiều so với tham số còn lại C(L) tới độ bền sợi in ($86,5\%$). Nghiên

cứu đã sử dụng sợi in 3D được tạo ra từ chai nhựa tái chế với bộ tham số tối ưu để in một số sản phẩm trang trí, lưu niệm và dụng cụ học tập cho chất lượng tốt, tính thẩm mỹ cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mạnh Hùng (2022), Rác thải nhựa ở Việt Nam: Thực trạng và giải pháp, *Tạp chí Công sản*, <https://www.tapchicongsan.org.vn/web/guest/bao-ve-moi-truong/-/2018/826009/rac-thai-nhua-o-viet-nam--thuc-trang-va-giai-phap.aspx>.
2. Trương Quốc Cường (2025), *Hải Phòng trước áp lực xử lý hơn 2.000 tấn rác thải mỗi ngày*, <https://vneconomy.vn/hai-phong-truoc-ap-luc-xu-ly-hon-2-000-tan-rac-thai-moi-ngay.htm>.

3. M. K. A. Al Rashid, Additive manufacturing for sustainability and circular economy: needs, challenges, and opportunities for 3D printing of recycled polymeric waste, *Mater. Today Sustain.*, vol. Article 10, 2023, doi: 10.1016/j.mtsust.2023.100529.
4. W. F. A. Vedrtam, P. Ghabezi, D. Gunwant, Y. Jiang, O. Sam-Daliri, N. Harrison, J. Goggins (2023), Mechanical performance of 3D-printed continuous fibre Onyx composites for drone applications: an experimental and numerical analysis, *Composit, vol. Part C: Op*, p. 12, doi: 10.1016/j.jcomc.2023.100418.
5. J. S. C. R. Kumar, M. Kumar (2021), The role of additive manufacturing for biomedical applications: a critical review, *J. Manuf. Process.*, vol. 64, pp. 828–850, 2021, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.02.022.
6. N. M. H. T. Ritter, E. McNiffe, T. Higgins, O. Sam-Daliri, T. Flanagan, M. Walls, P. Ghabezi, W. Finnegan, S. Mitchell (2023), Design and modification of a material extrusion 3D printer to manufacture functional gradient PEEK components, *Polym, vol. (Basel)*, 1, doi: 10.3390/polym15183825.
7. Lavie, *Nước Khoáng Lavie 5L (Thùng 4 Chai)*, <https://nuoclavie.vn/san-pham/nuoc-khoang-lavie-5l-thung-4-chai/>.
8. G. Taguchi (1981), *On-line quality control during production*, Japan Stand. Assoc, Tokyo.