

## TRIAL PRODUCTION OF BIOCHAR PELLETS FROM DE-OILED CASHEW NUT SHELLS

Nguyen Thanh Vinh, Lam Ngoc Han, Ho Phung Ngoc Thao, Ho Thi Thanh Hien\*

Faculty of Environment - Van Lang University - Ho Chi Minh City - Vietnam

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 10/12/2024	The energy crisis and global warming create great pressure on the development of renewable energy and dependence on fossil fuels. In Vietnam, the cashew nut processing industry, with an annual capacity of about 3 million tons, is estimated to produce 1.5 million tons of cashew residue per year. Although this amount of cashew residue is used as fuel for boilers and furnaces in industrial production, the combustion of raw cashew residue generates toxic gas emissions and hazardous ash and slag that need appropriate treatments. This study was conducted to produce biochar pellets from de-oiled cashew nut shells on a trial basis. The slow pyrolysis process was applied to prepare biochar which was then mixed with cassava starch-derived binder and pressed into a mold to form biochar pellets. The results showed that the de-oiled cashew nut shells-derived biochar pellets achieved the best quality at a pyrolysis temperature of 350°C for 3 hours with a binder ratio of 20%. The pellets also had high calorific value equivalent to sub-bitum coal, charcoal, and wood. The thermal efficiency, specific fuel consumption, and firepower values demonstrated that the pellets provided better energy efficiency than the coal from the market. Biochar pellets derived from de-oiled cashew nut shells can replace charcoal and coal, while promoting efficient resource use and environmental protection.
<b>Revised:</b> 22/01/2025	
<b>Published:</b> 22/01/2025	
<b>KEYWORDS</b>	
Biochar pellets	
De-oiled cashew nut shells	
Slow pyrolysis	
Renewable fuels	
Bioenergy	

## NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM SẢN XUẤT VIÊN NÉN THAN SINH HỌC TỪ BÃ ĐIỀU

Nguyễn Thành Vinh, Lâm Ngọc Hân, Hồ Phùng Ngọc Thảo, Hồ Thị Thanh Hiền\*

Khoa Môi trường - Trường Đại học Văn Lang - Thành phố Hồ Chí Minh - Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 10/12/2024	Vấn đề khủng hoảng năng lượng và âm lên toàn cầu gây áp lực lớn về phát triển năng lượng tái tạo và giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Tại Việt Nam, ngành chế biến hạt điều nhân với công suất khoảng 3 triệu tấn ước tính tạo ra 1,5 triệu tấn bã điều mỗi năm. Mặc dù lượng bã điều này được tận dụng làm nhiên liệu cung cấp cho lò hơi, lò nhiệt trong sản xuất công nghiệp, quá trình đốt bã điều thô phát sinh khí độc và tro xỉ nguy hại cần xử lý. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm sản xuất thử nghiệm viên nén than sinh học từ bã điều. Quá trình nhiệt phân chậm được áp dụng để điều chế than sinh học, sau đó sản phẩm nhiệt phân được phối trộn với chất kết dính từ tinh bột sắn và ép khuôn tạo thành viên nén than sinh học. Kết quả cho thấy sản phẩm viên nén đạt chất lượng tốt nhất khi nhiệt phân bã điều ở nhiệt độ 350°C trong 3h với tỷ lệ chất kết dính sử dụng là 20%. Nhiệt lượng của viên nén than bã điều có thể cạnh tranh với than đá sub-bitum, than củi và củi. Đánh giá hiệu suất nhiệt, mức tiêu thụ năng lượng riêng và công suất nhiệt đã chứng minh viên nén than bã điều hiệu quả hơn về năng lượng so với than đá trên thị trường. Viên nén than sinh học từ bã điều có thể thay thế than củi, than đá, đồng thời giúp sử dụng tài nguyên hiệu quả và bảo vệ môi trường.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 22/01/2025	
<b>Ngày đăng:</b> 22/01/2025	
<b>TỪ KHÓA</b>	
Viên nén than sinh học	
Bã điều	
Quá trình nhiệt phân chậm	
Nhiên liệu tái tạo	
Năng lượng sinh học	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11673>

\* Corresponding author. Email: [hien.htt@vlu.edu.vn](mailto:hien.htt@vlu.edu.vn)

## 1. Giới thiệu

Việt Nam là quốc gia đứng đầu thế giới về xuất khẩu hạt điều, chiếm 80% tổng sản lượng hạt điều nhân xuất khẩu của toàn thế giới. Lượng điều thô được chế biến tại Việt Nam chiếm 60% sản lượng điều thô toàn cầu [1]. Trong quá trình chế biến hạt điều, nhân điều chỉ chiếm 25-30% khối lượng hạt điều thô, vỏ điều bị loại bỏ chiếm phần lớn (70-75%) [2]. Vỏ điều hiện nay đều được tận thu để ép lấy dầu, phần còn lại là bã điều chiếm đến 70% khối lượng vỏ điều đầu vào và được sử dụng như một nguồn nhiên liệu cung cấp cho hệ thống lò đốt của các nhà máy dệt nhuộm, chế biến gỗ, giấy. Tuy nhiên, việc đốt bã điều thô phát sinh khí thải chứa khí a xít anacardic gây ăn mòn các hệ thống lò đốt và các hợp chất chứa phenol có khả năng gây ung thư [3]. Mặt khác, tro xỉ từ quá trình đốt không thể tái sử dụng cho các mục đích như phân bón, sản xuất vật liệu xây dựng. Do đó, nghiên cứu chuyển đổi bã điều thô thành dạng nhiên liệu hiệu quả và an toàn hơn cho môi trường là điều cần thiết.

Than sinh học sản xuất từ sinh khối là nguồn nhiên liệu thay thế khá tốt cho than củi và củi, không chỉ vì chất lượng tốt hơn mà còn vì những lợi ích về môi trường do sử dụng nguồn nguyên liệu tái tạo. Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để phát triển các loại viên nén than sinh học từ các loại sinh khối khác nhau như vỏ lạc, rơm rạ, mùn cưa, vỏ hạt điều, và bã mía [4], [5]. Những nghiên cứu này tập trung vào việc xác định các thông số cần kiểm soát như độ ẩm, kích thước hạt và chất kết dính để tối ưu hóa chất lượng viên nén than. Sawadogo và cộng sự [6] đã nghiên cứu sản xuất viên nén than từ bã điều và chỉ ra rằng sản phẩm tạo ra có các đặc tính hóa học và cơ học thỏa đáng, đáp ứng yêu cầu cho việc đốt cháy với hiệu suất nhiệt tương đương với than củi (33,9% so với 33,7%). Đồng thời, viên nén than từ bã điều có nhiệt lượng cao hơn so với củi (27 MJ/Kg so với 20 MJ/kg) và tạo ra ngọn lửa chất lượng cao khi đốt cháy, cho thấy khả năng ứng dụng trong thực tế.

Quá trình nhiệt phân chậm thường được sử dụng để điều chế than làm nguyên liệu sản xuất viên nén vì quá trình này tạo ra sản phẩm rắn với tỷ lệ cao hơn so với các sản phẩm khác [7]. Các nghiên cứu sản xuất viên nén than từ bã điều sử dụng quá trình nhiệt phân chậm ở nhiệt độ 350 °C [6], [8]. Hàm lượng cacbon cố định cao, hàm lượng tro thấp giúp tăng giá trị nhiệt lượng và cải thiện hiệu quả cháy của viên nén than, trong khi độ ẩm thấp đảm bảo quá trình cháy diễn ra hiệu quả hơn [9]. Các yếu tố nêu trên của viên nén than có thể bị chi phối bởi tỷ lệ chất kết dính sử dụng. Chất kết dính thường được tạo thành từ thành phần chính là tinh bột sắn. Tỷ lệ chất kết dính khoảng 12% [8] và 40-45% [6] cho kết quả tối ưu về độ bền cơ học và nhiệt lượng của viên nén. Riêng tinh bột sắn trong toàn bộ hỗn hợp sản xuất viên nén thường chiếm tỷ lệ 4-8% dẫn đến chi phí cao, khả năng chống thấm và cứng hóa thấp, do đó ít được sử dụng trong các quy trình công nghiệp [10]. Nghiên cứu của Ifa [8] cho thấy kích thước hạt than ảnh hưởng không đáng kể đến các thành phần tương đối cũng như nhiệt trị của viên nén than.

Nghiên cứu này điều chế thử nghiệm viên nén than sinh học từ bã điều và sử dụng tinh bột sắn làm chất kết dính với tỷ lệ tiết kiệm hơn. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tạo thành viên nén than sinh học và chất lượng than sẽ được đánh giá. Việc sử dụng viên nén than sinh học thay cho bã điều thô làm nhiên liệu đốt giúp cung cấp giải pháp thay thế cho các loại than củi và than đá, đồng thời có ý nghĩa quan trọng trong việc sử dụng tài nguyên và bảo vệ môi trường. Mặt khác, nghiên cứu sử dụng liều lượng chất kết dính thấp hơn so với các nghiên cứu đã thực hiện, kết quả khả thi sẽ là tiền đề cho quá trình sản xuất viên nén than từ bã điều với chi phí thấp hơn.

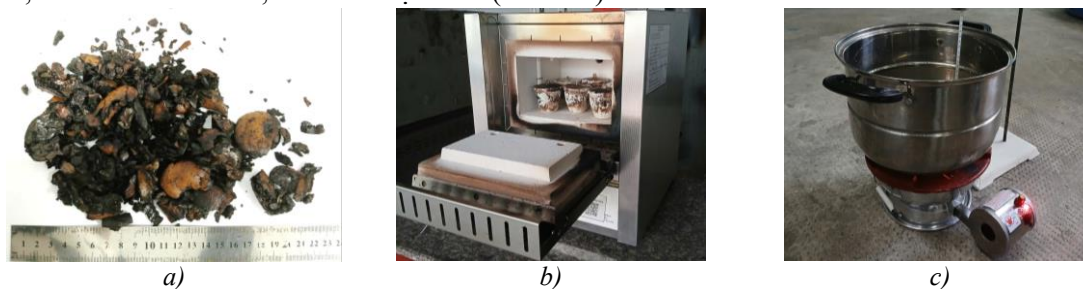
## 2. Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Nguyên liệu và thiết bị chính

Nguyên liệu chính được sử dụng để sản xuất viên nén than sinh học là bã điều đã ép dầu (Hình 1a) được thu mua từ Công ty TNHH Khang Thịnh tại huyện Phú Riềng, tỉnh Bình Phước, Việt Nam. Chất kết dính được sử dụng trong nghiên cứu này là tinh bột sắn. Sự lựa chọn này dựa trên cơ sở kế thừa kết quả của nghiên cứu đã được công bố, tính sẵn có của tinh bột sắn trên thị

trường, giá thành thấp và được sử dụng nhiều trong công nghiệp. Than đá sử dụng trong thí nghiệm đun sôi nước nhằm so sánh với sản phẩm viên nén than từ nghiên cứu này là loại than đá sub-bitum được mua tại quận Bình Thạnh, Thành phố Hồ Chí Minh.

Thiết bị được sử dụng để nhiệt phân bã điều là lò nung Nabertherm – Đức (Hình 1b) với các thông số: công suất 3,5 KW, nhiệt độ tối đa 1200 °C, thể tích bên trong lò 15 L và thời gian đạt nhiệt độ cực đại là 75 phút. Bếp thí nghiệm đun sôi nước sử dụng là loại bếp nung than công suất 3W, nguồn điện 110-220 V, đường kính ngoài và đường kính lọt lòng tương ứng 24 cm và 16 cm, chiều cao lò 12 cm, xuất xứ Việt Nam (Hình 1c).



**Hình 1.** Nguyên liệu và thiết bị thí nghiệm chính: (a) Bã điều, (b) Thiết bị nhiệt phân bã điều, và (c) Bếp thí nghiệm đun sôi nước

## 2.2. Quy trình sản xuất thử nghiệm viên nén than

Quy trình sản xuất thử nghiệm viên nén than gồm 2 quá trình chính: (i) nhiệt phân chậm để điều chế than sinh học và (ii) tạo thành viên nén than (Hình 2).

### 2.2.1. Quá trình điều chế than sinh học từ bã điều

Quá trình nhiệt phân chậm được áp dụng để điều chế than sinh học từ bã điều theo từng mẻ để sản xuất viên nén than. 50g bã điều được cân và chia vào 6 cốc nung 100 mL. Tiếp theo, các cốc chứa đầy nguyên liệu được bọc một lớp giấy nhôm trên miệng cốc và đậy nắp trước khi đặt vào lò nung nhằm hạn chế tiếp xúc với không khí. Kế thừa kết quả nghiên cứu của Sawadogo và cộng sự [6] và Ifa [8], đồng thời để tiết kiệm năng lượng nhiệt phân, nghiên cứu này chọn ba nhiệt độ nhiệt phân để điều chế than từ bã điều là 200 °C, 300 °C và 350 °C. Tổng thời gian của quá trình nhiệt phân là 2,5 h, trong đó quá trình gia nhiệt đến nhiệt độ nhiệt phân diễn ra trong 1 h, sau đó nhiệt độ nhiệt phân được duy trì trong 1,5 h tiếp theo. Các sản phẩm than sinh học được đánh giá cảm quan về mức độ cacbon hóa thông qua màu sắc sản phẩm. Các sản phẩm cacbon hóa tốt sẽ có màu đen tuyền, được xác định hiệu suất điều chế và được chọn để tạo thành viên nén than.

Hiệu suất điều chế than được xác định theo phương trình:

$$H (\%) = \frac{m_1}{m_0} \times 100. \quad (1)$$

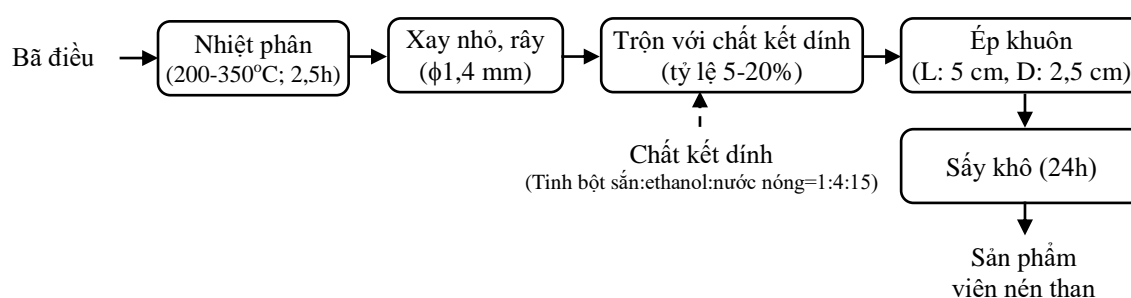
Trong đó,  $H$  là hiệu suất điều chế than (%);  $m_0$ ,  $m_1$  lần lượt là khối lượng nguyên liệu ban đầu và lượng nguyên liệu sau khi nhiệt phân (g).

### 2.2.2. Quá trình tạo thành viên nén than

Than sinh học được để nguội về nhiệt độ phòng, sau đó xay và rây qua rây kỹ thuật có đường kính lỗ 1,4 mm. Than thu được qua rây được trộn với chất kết dính theo các tỷ lệ 5%, 10%, 15% và 20% theo khối lượng của hỗn hợp gồm chất kết dính và bột than sinh học (những tỷ lệ này được điều chỉnh trên cơ sở nghiên cứu của Ifa [8]). Chất kết dính là hỗn hợp được tạo thành bởi 5% bột sắn, 20% dung dịch etanol và 75% nước nóng theo khối lượng. Ethanol có khả năng tương tác với các phân tử tinh bột làm thay đổi cấu trúc hydro bên trong, có tác dụng kháng nước và giảm khả năng hút ẩm của viên nén than [11]. Hỗn hợp thu được sau đó được ép thủ công bằng khuôn nhựa PVC có chiều dài 10 cm và đường kính trong 2,5 cm để tạo thành viên nén than. Viên nén than sau

khí ép còn độ ẩm khá lớn, ảnh hưởng đến tính ổn định của ngọn lửa cũng như có thể tác động mạnh đến cân bằng nhiệt và hiệu quả đốt cháy [12], do đó được sấy khô ở nhiệt độ 105 °C trong 24 giờ.

Sản phẩm viên nén than được phân tích thành phần tương đối (độ ẩm, hàm lượng chất bay hơi, độ tro, hàm lượng cacbon cố định) và lặp lại 3 lần theo phương pháp của Igalavithana và cộng sự [13] tại phòng thí nghiệm Trường Đại học Văn Lang (PTN VLU). Trên cơ sở kết quả phân tích thành phần tương đối và quan sát về độ cứng, chắc chắn của viên nén than, nhóm nghiên cứu lựa chọn sản phẩm viên nén than của nghiệm thức cho kết quả tốt nhất để phân tích thành phần tuyệt đối và nhiệt lượng (HCV) ở Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (QUATEST 3). Các chỉ tiêu thành phần tuyệt đối gồm hàm lượng C, H, N, S và Cl được xác định theo phương pháp BS EN ISO16994:2016 và nhiệt lượng được xác định theo phương pháp ISO 18125:2017. Ngoài ra, hiệu quả cung cấp nhiệt của viên nén than bã điều cũng được xác định và so sánh với than đá mua trên thị trường thông qua các thông số: hiệu suất nhiệt, mức tiêu thụ năng lượng riêng và công suất nhiệt [14] tại PTN VLU.



Hình 2. Quy trình điều chế viên nén than

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Thành phần tương đối của bã điều

Kết quả phân tích thành phần tương đối (Bảng 1) cho thấy bã điều nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu này có độ ẩm, hàm lượng chất bay hơi và độ tro lần lượt là 9,2%, 62,18% và 1,84%, hơi thấp hơn so với nghiên cứu của Sawadogo và cộng sự [6]. Ngược lại, hàm lượng cacbon cố định trong bã điều nghiên cứu (26,76%) cao hơn so với mẫu nghiên cứu của Sawadogo và cộng sự [6] (19,14%) và Kaur và cộng sự [15] (8,4%). Sự chênh lệch về thành phần của nguyên liệu thô này có thể giải thích là do điều kiện địa lý, khí hậu, đất đai và điều kiện canh tác nông nghiệp của hai khu vực khác nhau. Theo Supatata và cộng sự [16], chất thải nông nghiệp phù hợp để làm viên nén than với độ tro khoảng 4%. Do đó, nguyên liệu bã điều sử dụng trong nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp cho mục đích sản xuất viên nén than.

Bảng 1. Thành phần tương đối của bã điều (n = 3)

Độ ẩm (%)	Hàm lượng chất bay hơi (%)	Độ tro (%)	Hàm lượng cacbon cố định (%)	Nguồn
9,2 ± 0,4	62,18 ± 2,21	1,84 ± 0,26	26,76 ± 2,03	Nghiên cứu này
9,72	77,81	3,05	19,14	[6]
1,81	48,38	3,40	20,56	[17]

#### 3.2. Kết quả điều chế than sinh học từ bã điều

Kết quả nhiệt phân bã điều ở các nhiệt độ 200 °C, 300 °C và 350 °C cho thấy sản phẩm nhiệt phân tại 200 °C còn tồn tại màu nâu của bã điều, thể hiện phần lớn nguyên liệu chưa được cacbon hóa. Do đó, chỉ các sản phẩm than sinh học điều chế tại 300 °C và 350 °C mới được sử dụng để tính toán hiệu suất điều chế cũng như đưa vào sản xuất thử nghiệm viên nén than.

Hiệu suất điều chế than sinh học tại 300 °C và 350 °C lần lượt là 42% và 35%. So sánh với kết quả nghiên cứu sử dụng lò nung Casamance, thường được coi là công nghệ thành công với hiệu suất khoảng 31% [18] và 35% [6] thì hiệu suất thu hồi than sinh học từ nghiên cứu này tương đương hoặc thậm chí tốt hơn. Sự khác biệt này có thể do xuất xứ nguồn nguyên liệu cũng như loại lò nung khác nhau.

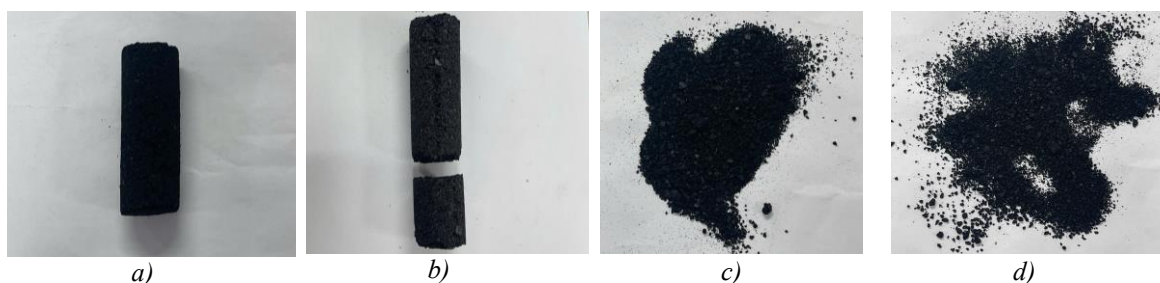
### 3.3. Kết quả sản xuất thử nghiệm viên nén than

#### 3.3.1. Nồng độ chất kết dính tối ưu

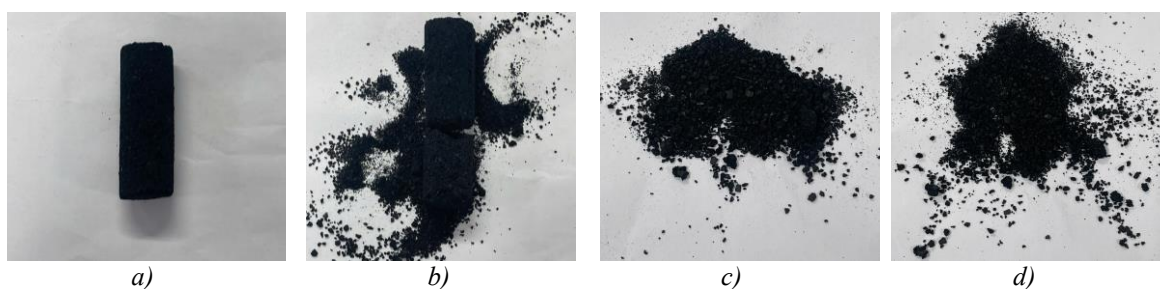
Kết quả sản xuất thử nghiệm viên nén từ than sinh học điều chế tại 300 °C và 350 °C với các tỷ lệ chất kết dính khác nhau cho thấy viên nén được điều chế thành công khi giữ được hình dạng ở nồng độ chất kết dính 20%, tương ứng với tỷ lệ tinh bột sắn : ethanol : nước : than sinh học là 1 : 4 : 15 : 80 (Bảng 2, Hình 3a và Hình 4a). Các công thức sử dụng nồng độ chất kết dính 5%, 10% và 15% đều không thành công do sản phẩm tạo thành không chịu được lực nén và bị nứt, gãy, vỡ như có thể thấy ở Hình 3b-d và Hình 4b-d. Do đó, sản phẩm viên nén từ than sinh học điều chế tại 300 °C và 350 °C với tỷ lệ chất kết dính 20% được chọn để tiếp tục phân tích các chỉ tiêu quan trọng như thành phần tuyệt đối, nhiệt lượng, hiệu suất nhiệt, mức tiêu thụ nhiên liệu riêng và công suất nhiệt.

**Bảng 2.** Kết quả tạo thành viên nén than

Tỷ lệ chất kết dính	5%	10%	15%	20%
Than sinh học 300 °C	Viên nén bị vỡ vụn	Viên nén bị vỡ vụn	Viên nén bị nứt	Tạo viên nén thành công
Than sinh học 350 °C	Viên nén bị vỡ vụn	Viên nén bị vỡ vụn	Viên nén có nhiều vết nứt và bị vỡ	Tạo viên nén thành công



**Hình 3.** Viên nén từ than sinh học điều chế tại 300 °C với tỷ lệ chất kết dính: a) 20%; b) 15%; c) 10%; d) 5%



**Hình 4.** Viên nén từ than sinh học điều chế tại 350 °C với tỷ lệ chất kết dính: a) 20%; b) 15%; c) 10%; d) 5%

#### 3.3.2. Thành phần tương đối của viên nén than

So sánh thành phần tương đối của viên nén từ than sinh học nhiệt phân ở 300 °C và 350 °C (Bảng 3 và Hình 5) cho thấy sự khác biệt rõ rệt về các thông số. Sản phẩm ở cả hai nhiệt độ đều duy trì độ ẩm thấp ở mức 0,5%. Hàm lượng chất bay hơi của viên nén than ở 300 °C và 350 °C

lần lượt là 33,7% và 25,4%, cho thấy nhiệt độ nhiệt phân cao hơn loại bỏ nhiều hợp chất bay hơi hơn. Độ tro của sản phẩm cũng dao động trong khoảng từ 4,2% ở 350 °C đến 5,0% ở 300 °C. Đặc biệt, hàm lượng cacbon cố định tăng từ 60,8% ở 300 °C lên 69,9% ở 350 °C, chứng minh rằng nhiệt độ cao hơn giúp tăng hàm lượng cacbon, cải thiện chất lượng than sinh học.

So sánh với yêu cầu kỹ thuật của than thương phẩm theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8910:2020 [19] thì sản phẩm viên nén than từ nghiên cứu này có độ tro và độ ẩm đạt TCVN 8910:2020, do đó có khả năng giảm phát sinh bụi trong quá trình đốt. Tuy nhiên, hàm lượng chất bay hơi chỉ đạt yêu cầu đối với “than không phân cấp” và không đạt đối với “than cục”. Viên nén than có hàm lượng chất bay hơi cao sẽ tạo ra nhiều khói và hắc ín trong quá trình đốt, mặt khác hàm lượng cacbon cố định thấp sẽ làm giảm chất lượng viên nén [20]. Ngoài ra, hai sản phẩm viên nén than từ nghiên cứu này đều đạt tiêu chuẩn than nung và than củi nung dạng viên theo EN 1860-2:2023 [21].

Viên nén từ than điều chế tại 350 °C có hàm lượng cacbon cố định gần với tiêu chuẩn viên nén than nhiên liệu của Nhật Bản hơn cả (77%) [22], đồng thời xấp xỉ với sản phẩm nghiên cứu của Ifa [8]. Tuy nhiên, thành phần này cao hơn gấp 1,3-1,9 lần so với sản phẩm nghiên cứu của Sawadogo và cộng sự [6]. Kết quả này có thể được giải thích là do Sawadogo và cộng sự [6] sử dụng tỷ lệ tinh bột sắn trong công thức sản xuất viên nén cao gấp 5-25 lần so với nghiên cứu này, dẫn đến hàm lượng chất bay hơi tăng và cacbon cố định giảm tương ứng. Với nhiều ưu điểm hơn, viên nén từ than sinh học nhiệt phân ở nhiệt độ 350 °C được lựa chọn để phân tích thành phần tuyệt đối, nhiệt lượng và thực hiện thí nghiệm đun sôi nước.

Kết quả so sánh thành phần viên nén than từ nghiên cứu này với các tiêu chuẩn than của Việt Nam và quốc tế cho thấy sản phẩm có khả năng cạnh tranh với các sản phẩm thương mại ở các khía cạnh về độ tro, độ ẩm, hàm lượng cacbon cố định. Tuy nhiên, sản phẩm cần được hoàn thiện hơn ở khía cạnh giảm hàm lượng chất bay hơi, khi đó hàm lượng cacbon cố định sẽ được cải thiện hơn nữa. Đồng thời, độ bền cơ học, chất lượng của khí thải từ quá trình đốt viên nén, cũng như tính ổn định về chất lượng sản phẩm cũng cần được đánh giá thông qua các nghiên cứu bổ sung và ở quy mô lớn hơn.



Hình 5. Sản phẩm viên nén từ than sinh học điều chế tại các nhiệt độ: a) 300 °C và b) 350 °C

Bảng 3. Phân tích đặc tính hóa lý của viên nén ( $n = 3$ )

Nhiệt độ nhiệt phân (°C)	Tỷ lệ tinh bột sắn (%)	Độ ẩm (%)	Hàm lượng chất bay hơi (%)	Độ tro (%)	Hàm lượng cacbon cố định (%)	Tài liệu tham khảo
300	1	$0,5 \pm 0,04$	$33,7 \pm 0,9$	$5,0 \pm 0,3$	$60,8 \pm 1,1$	Nghiên cứu này
350	1	$0,5 \pm 0,02$	$25,4 \pm 0,9$	$4,2 \pm 0,2$	$69,9 \pm 1,1$	Nghiên cứu này
350	1	5,3	17,16	4,96	72,62	[8]
350	5 - 25	8	40 - 59	4 - 7	36 - 54	[6]

### 3.3.3. Kết quả phân tích thành phần tuyệt đối và nhiệt lượng của viên nén than

Kết quả phân tích thành phần tuyệt đối của viên nén than từ bã điều cho thấy thành phần C, H, S, Cl và N lần lượt là 67,8%, 3,74%, 0,04%, 0,02% và 1,11%. Hàm lượng C khá cao cho thấy khả năng cung cấp nhiệt lượng của viên nén khá tốt. Đặc biệt, hàm lượng S thấp hơn nhiều so với

giới hạn cho phép của các loại than thương phẩm theo TCVN 8910:2020 (1,75 - 9,00%) [19]. Hàm lượng S, Cl và N thấp cho thấy triển vọng sử dụng sản phẩm nghiên cứu làm nhiên liệu đốt sẽ giảm các phát thải khí axit và hiện tượng ăn mòn thiết bị.

Giá trị nhiệt lượng của viên nén than bã điều trong nghiên cứu này là 27,19 MJ/kg, xấp xỉ với giá trị nhiệt lượng của viên nén trong công bố của Sawadogo và cộng sự [6] (25,7 MJ/Kg) và Ifa [8] (29,49 MJ/kg). Sản phẩm nghiên cứu có giá trị nhiệt lượng thấp hơn than antraxit (32,6 MJ/kg), than bitum (30,2 MJ/kg) nhưng có khả năng cạnh tranh tốt với than củi (29,6 MJ/kg), than sub-bitum (24,4 MJ/kg), đồng thời cao hơn hẳn so với củi (16,2 MJ/kg) [23] và viên nén gỗ (18 - 19 MJ/kg) [24]. Giá trị nhiệt cao giúp cho quá trình đốt cháy hiệu quả hơn, do đó tiết kiệm lượng viên nén than sử dụng.

### 3.3.4. Hiệu suất nhiệt, mức tiêu thụ năng lượng riêng và công suất nhiệt

Viên nén than từ bã điều nhiệt phân ở 350 °C được sử dụng để thực hiện thí nghiệm đun sôi nước so sánh với than đá và sử dụng cùng một bếp lò. Bảng 4 tóm tắt các thông số đánh giá về hiệu suất nhiệt, mức tiêu thụ nhiên liệu riêng và công suất nhiệt khi sử dụng hai loại nhiên liệu.

Nghiên cứu này cho thấy viên nén than bã điều hiệu quả hơn hẳn về mặt thời gian đun sôi nước (12 phút) so với than đá (33 phút). Kết quả tính toán cho giai đoạn “bắt đầu nguội” cho thấy viên nén than tiếp kiệm năng lượng gấp 2 lần so với than đá khi sử dụng loại bếp lò khảo sát. Điều này có thể thấy thông qua giá trị hiệu suất nhiệt đối với viên nén than (63,61%) cao hơn gấp 1,8 lần so với than đá (35,07%) do mức tiêu thụ nhiên liệu riêng của viên nén than thấp hơn than đá (0,018 so với 0,043 kg nhiên liệu/kg nước). Đồng thời, công suất nhiệt đối với viên nén than cũng thấp hơn than đá (1,60 so với 1,21 kJ/s). Kết quả tính toán công suất nhiệt thể hiện năng lượng tỏa ra từ nhiên liệu sử dụng để đun sôi nước trong cùng một khoảng thời gian đối với viên nén than bã điều là lớn hơn so với than đá. Điều này giải thích được thời gian đun sôi nước khi sử dụng viên nén than bã điều lại rút ngắn hơn. Hay nói cách khác, viên nén than bã điều có tốc độ cháy và sinh nhiệt tốt hơn than đá.

Trong giai đoạn “đun sôi”, hiệu suất nhiệt của cả hai loại nhiên liệu đều giảm do thời gian đun sôi kéo dài hơn, đồng thời hiệu suất nhiệt đối với viên nén than chỉ nhỉnh hơn một chút (khoảng 7%) so với than đá. Mức tiêu thụ nhiên liệu riêng của viên nén than cũng thấp hơn, khoảng 84% so với than đá. Trong quá trình đun sôi nước kéo dài 45 phút, công suất nhiệt khá tương đương cho cả hai loại nhiên liệu.

**Bảng 4.** Kết quả thí nghiệm đun sôi nước

Giai đoạn	Thông số của quá trình đốt	Viên nén than	Than đá
Giai đoạn “bắt đầu nguội”	Thời gian đun sôi nước (phút)	12	33
	Hiệu suất nhiệt ( $h_c$ , %)	63,61	35,07
	Mức tiêu thụ nhiên liệu riêng ( $SC_c$ , kg nhiên liệu tiêu thụ/ kg nước)	0,018	0,043
	Công suất nhiệt ( $P_c$ , kJ/s)	1,60	1,21
Giai đoạn “đun sôi”	Hiệu suất nhiệt ( $h_s$ , %)	29,80	27,88
	Mức tiêu thụ nhiên liệu riêng ( $SC_s$ , kg nhiên liệu tiêu thụ/ kg nước)	0,37	0,44
	Công suất nhiệt ( $P_s$ , kJ/s)	3,46	3,44

## 4. Kết luận

Nghiên cứu này đã thành công trong việc sản xuất thử nghiệm viên nén than từ bã điều, với mục tiêu là phát triển một loại nhiên liệu tái tạo có hiệu suất và chất lượng tốt. Kết quả cho thấy viên nén than từ bã điều có chất lượng tốt nhất ở nhiệt độ nhiệt phân 350 °C, sử dụng tỷ lệ chất kết dính 20%, với giá trị trung bình của hàm lượng cacbon cố định và độ tro tương ứng là 69,9% và 4,2%. Hàm lượng S, Cl và N thấp khả năng tạo thành các khí acid từ quá trình cháy thấp. Giá

trị nhiệt lượng đạt 27,19 MJ/kg cho thấy khả năng cạnh tranh tốt với than đá sub-bitum, than củi và củi. Kết quả thử nghiệm đun sôi nước cho thấy sử dụng viên nén than bã điều hiệu quả hơn than đá mua trên thị trường.

Các nghiên cứu trong tương lai sẽ hướng đến tối ưu hóa quy trình nhiệt phân và đồng thu hồi sản phẩm phụ như dầu sinh học. Mặt khác, việc thử nghiệm trên quy mô lớn hơn, sử dụng các hệ thống đun nấu hoặc lò đốt thực tế, đồng thời đo đạc chất lượng khí thải sẽ giúp đánh giá chính xác hơn về hiệu quả và tính khả thi của viên nén than từ bã điều trong các ứng dụng thương mại.

### Lời cảm ơn

Công trình này được tài trợ bởi nguồn kinh phí từ Trường Đại học Văn Lang theo Quyết định số 374/QĐ-ĐHVLT ngày 21/3/2024.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] H. Liem, "Vietnam continues to lead the world in cashew nut exports," (in Vietnamese), 2023. [Online]. Available: <https://nhandan.vn/viet-nam-tiep-tuc-dung-dau-the-gioi-ve-xuat-khau-nhan-dieu-post687169.html>. [Accessed November 25, 2024].
- [2] T. T. Lang, "Research on developing wastewater and solid waste emission coefficients in the cashew processing industry in Binh Phuoc province," (in Vietnamese), Department of Science and Technology of Binh Phuoc province, Binh Phuoc, 2018.
- [3] J. B. Josino, D. S. Serra, M. D. M. Gomes, R. S. Araújo, M. L. M. de Oliveira, and F. S. Á. Cavalcante, "Changes of respiratory system in mice exposed to PM4.0 or TSP from exhaust gases of combustion of cashew nut shell," *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 56, pp. 1-9, 2017, doi: 10.1016/j.etap.2017.08.020.
- [4] M. Njenga, N. Karanja, H. Karlsson, R. Jamnadass, M. Iiyama, J. Kithinji, and C. M. Sundberg, "Additional cooking fuel supply and reduced global warming potential from recycling charcoal dust into charcoal briquette in Kenya," *Journal of Cleaner Production*, vol. 81, pp. 81-88, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.06.002.
- [5] W.-H. Chen, J. Peng, and X. T. Bi, "A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 44, pp. 847-866, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.12.039.
- [6] M. Sawadogo, S. T. Tanoh, S. Sidibé, N. Kpai, and I. Tankoano, "Cleaner production in Burkina Faso: Case study of fuel briquettes made from cashew industry waste," *Journal of Cleaner Production*, vol. 195, pp. 1047-1056, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.261.
- [7] P. D. C. Sanchez, M. M. T. Aspe, and K. N. Sindol, "An overview on the production of bio-briquettes from agricultural wastes: methods, processes, and quality," *Journal of Agricultural and Food Engineering*, vol. 1, p. 17, 2022, doi: 10.37865/jafe.2022.0036.
- [8] L. Ifa, "Production of bio-briquette from biochar derived from pyrolysis of cashew nut waste," *Ecology, Environment and Conservation*, vol. 25, pp. 125-131, 2019.
- [9] I. E. Onukak, I. A. Mohammed-Dabo, A. O. Ameh, S. I. R. Okoduwa, and O. O. Fasanya, "Production and characterization of biomass briquettes from tannery solid waste," *Recycling*, vol. 2, no. 4, 2017, doi: 10.3390/recycling2040017.
- [10] G. Zhang, Y. Sun, and Y. Xu, "Review of briquette binders and briquetting mechanism," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 477-487, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.072.
- [11] Y. Sun, F. Li, Y. Luan, P. Li, X. Dong, M. Chen, L. Dai, and Q. Sun, "Gelatinization, pasting, and rheological properties of pea starch in alcohol solution," *Food Hydrocolloids*, vol. 112, 2021, Art. no. 106331, doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.106331.
- [12] A. Bahadori, G. Zahedi, S. Zendejboudi, and A. Jamili, "Estimation of the effect of biomass moisture content on the direct combustion of sugarcane bagasse in boilers," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 33, no. 2, pp. 349-356, 2014, doi: 10.1080/14786451.2012.748766.
- [13] A. D. Igalavithana, S. Mandal, N. K. Niazi, M. Vithanage, S. J. Parikh, F. N. D. Mukome, M. Rizwan, P. Oleszczuk, M. Al-Wabel, N. Bolan, D. C. W. Tsang, K. H. Kim, and Y. S. Ok, "Advances and future directions of biochar characterization methods and applications," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 47, no. 23, pp. 2275-2330, 2017, doi: 10.1080/10643389.2017.1421844.

- [14] Clean Cooking Alliance, "The Water Boiling Test Version 4.2.3 - Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting," 2014. [Online]. Available: <https://cleancooking.org/research-evidence-learning/standards-testing/protocols/>. [Accessed September 15, 2024].
- [15] R. Kaur, V. Tarun Kumar, B. B. Krishna, and T. Bhaskar, "Characterization of slow pyrolysis products from three different cashew wastes," *Bioresource Technology*, vol. 376, 2023, Art. no. 128859, doi: 10.1016/j.biortech.2023.128859.
- [16] N. Supatata, J. Buates, and P. Hariyanont, "Characterization of fuel briquettes made from sewage sludge mixed with water hyacinth and sewage sludge mixed with sedge," *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 4, no. 2, p. 179, 2013, doi: 10.7763/IJESD.2013.V4.330.
- [17] S. Ogunwolu, F. Henshaw, H. Mock, and A. Matros, "Production of protein concentrate and isolate from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut," *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, vol. 10, no. 5, 2010, doi: 10.4314/ajfand.v10i5.56334.
- [18] C. R. Lohri, H. M. Rajabu, D. J. Sweeney, and C. Zurbrügg, "Char fuel production in developing countries – A review of urban biowaste carbonization," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 1514-1530, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.088.
- [19] Ministry of Science and Technology of Vietnam, *TCVN 8910:2020 Commercial coal – Specifications*, (in Vietnamese), Ha Noi, Vietnam, 2020.
- [20] S. U. Yunusa, E. Mensah, K. Preko, S. Narra, A. Saleh, and S. Sanfo, "A comprehensive review on the technical aspects of biomass briquetting," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 14, no. 18, pp. 21619-21644, 2024, doi: 10.1007/s13399-023-04387-3.
- [21] European Committee for Standardization, *EN 1860-2:2023 Appliances, solid fuels and firelighters for barbecuing - Part 2: Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes-Requirements and test methods*, Brussels, Belgium, 2023.
- [22] A. P. Jaya and M. S. Sihotang, "Manufacture of briquettes from baking filter dust (BFD) waste and coconut shell charcoal," *Journal of Technomaterial Physics*, vol. 4, no. 2, pp. 157-166, 2022.
- [23] The Engineering ToolBox, "Fuels - Higher and Lower Calorific Values," 2003. [Online]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d\\_169.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html). [Accessed November 13, 2024].
- [24] B. Ghiasi, L. Kumar, T. Furubayashi, C. J. Lim, X. Bi, C. S. Kim, and S. Sokhansanj, "Densified biocoal from woodchips: Is it better to do torrefaction before or after densification?," *Applied Energy*, vol. 134, pp. 133-142, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.07.076.