

Đặc tính cơ lý của ván dăm sản xuất từ vỏ Sầu riêng và gỗ Cao su

Tăng Thị Kim Hồng*, Nguyễn Nhật Quang

Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

Mechanical and physical properties of particleboards made from durian husk and rubberwood

Tang Thi Kim Hong*, Nguyen Nhat Quang

Nong Lam University – Ho Chi Minh City

*Corresponding author: tangkimhong@hcmuaf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.2.2025.160-167>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 17/02/2025

Ngày phản biện: 18/03/2025

Ngày quyết định đăng: 11/04/2025

Từ khóa:

Đặc tính cơ lý, gỗ Cao su, ván dăm, vật liệu bền vững, vỏ Sầu riêng.

Keywords:

Bio-particleboard, durian husk, mechanical and physical properties, rubberwood, sustainable materials.

TÓM TẮT

Phụ phẩm nông nghiệp được xem là nguồn nguyên liệu tiềm năng trong sản xuất ván gỗ nhân tạo. Vỏ Sầu riêng, một phụ phẩm lignocellulose có trữ lượng lớn tại Đông Nam Á, cùng với gỗ Cao su, loại gỗ thương mại phổ biến ở Việt Nam, đều cho thấy tiềm năng đáng kể trong chế tạo ván dăm thân thiện với môi trường. Nghiên cứu này đánh giá khả năng sản xuất ván dăm một lớp từ sự phối trộn dăm vỏ Sầu riêng và dăm gỗ Cao su với các tỷ lệ phối trộn khác nhau, sử dụng keo urea-formaldehyde làm chất kết dính. Các chỉ tiêu cơ lý gồm độ trương nở chiều dày, độ bền uốn tĩnh và độ bền liên kết được xác định theo các tiêu chuẩn châu Âu. Kết quả cho thấy ván dăm khảo nghiệm đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với ván dăm sử dụng trong điều kiện khô (loại P1) theo tiêu chuẩn EN 312:2010. Việc sử dụng kết hợp vỏ Sầu riêng và gỗ Cao su không chỉ nâng cao giá trị sử dụng của phụ phẩm nông nghiệp, mà còn đóng góp vào việc thúc đẩy phát triển kinh tế tuần hoàn.

ABSTRACT

Agricultural residues serve as promising raw materials for bio-particleboard production. Durian husk, a lignocellulosic byproduct abundantly available in South-east Asia, along with rubberwood, a widely used commercial timber in Vietnam, both show considerable potential for the development of eco-friendly particleboards. This study evaluates the feasibility of producing single-layer particleboards from varying mixtures of durian husk and rubberwood particles, using urea-formaldehyde resin as a binder. Mechanical and physical properties, including thickness swelling, modulus of rupture, and internal bond strength, were assessed in accordance with relevant European standards. Results showed that the particleboards investigated met the technical requirements for general-purpose particleboards used in dry conditions (type P1) as specified in EN 312:2010. The optimal composition was identified as 25% durian husk particles, 75% rubberwood particles, and 10% urea-formaldehyde resin. The integration of durian husk and rubberwood in particleboard manufacturing not only enhances the value of agricultural byproducts but also contributes to promoting circular economy practices.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc tận dụng phụ phẩm nông nghiệp trong sản xuất ván dăm đang được quan tâm như một hướng đi tiềm năng trong phát triển vật

liệu bền vững, góp phần gia tăng giá trị sử dụng của sinh khối phế thải, đồng thời tạo ra các sản phẩm thay thế thân thiện với môi trường cho ván gỗ truyền thống [1]. Trước nhu cầu ngày

càng tăng đối với vật liệu xanh, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc khai thác các nguồn nguyên liệu lignocellulose thay thế trong sản xuất ván gỗ nhân tạo [2].

Trong số các nguồn phụ phẩm nông nghiệp và nguyên liệu gỗ có hàm lượng lignocellulose cao, vỏ Sầu riêng và gỗ Cao su được xem là hai nguyên liệu tiềm năng. Vỏ Sầu riêng là phụ phẩm phát sinh chủ yếu trong quá trình tiêu thụ trái cây, được thải bỏ với khối lượng lớn tại các vùng nhiệt đới, đặc biệt ở Đông Nam Á, nơi ngành trồng Sầu riêng đang phát triển mạnh mẽ. Tại Việt Nam, Sầu riêng đã trở thành một trong những cây ăn quả chủ lực, với tốc độ mở rộng diện tích canh tác nhanh chóng, đưa Việt Nam trở thành một trong những quốc gia xuất khẩu Sầu riêng hàng đầu khu vực. Theo báo cáo của China Research and Intelligence [3], trong năm 2023, Việt Nam xuất khẩu khoảng 600.000 tấn Sầu riêng, với tổng sản lượng đạt gần 850.000 tấn vào năm 2024. Mức tăng trưởng này chủ yếu đến từ nhu cầu thị trường cao, đặc biệt từ Trung Quốc, thị trường nhập khẩu lớn nhất của Sầu riêng Việt Nam.

Tuy nhiên, song hành với sự gia tăng nhanh về sản lượng là khối lượng lớn phụ phẩm nông nghiệp, đặc biệt là vỏ Sầu riêng, hiện vẫn chưa được khai thác và sử dụng một cách hiệu quả. Trong khi đó, gỗ Cao su, một loại gỗ thương mại phổ biến tại Việt Nam, sau chu kỳ khai thác mũ thường được tận dụng cho các mục đích thứ cấp như sản xuất đồ nội thất, pallet hoặc làm nguyên liệu tái chế. Với ưu điểm giàu thành phần lignocellulose, dễ gia công và nguồn cung ổn định từ các vùng trồng Cao su trong nước, gỗ Cao su được xem là nguyên liệu phù hợp cho sản xuất ván gỗ nhân tạo từ phụ phẩm nông nghiệp kết hợp với gỗ tự nhiên.

Nhiều nghiên cứu đã khảo sát khả năng ứng dụng phụ phẩm nông nghiệp trong chế tạo ván dăm [2, 4], tuy nhiên, sử dụng vỏ Sầu riêng cho ván dăm dường như chưa được nghiên cứu. Trong bối cảnh sản lượng Sầu riêng và lượng

phụ phẩm đi kèm ngày càng gia tăng, việc tận dụng vỏ Sầu riêng kết hợp với gỗ Cao su không chỉ góp phần giảm thiểu chất thải sinh học mà còn thúc đẩy kinh tế tuần hoàn trong lĩnh vực nông - lâm nghiệp.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tính khả thi của việc sử dụng vỏ Sầu riêng kết hợp với gỗ Cao su trong sản xuất ván dăm. Nghiên cứu tập trung phân tích các đặc tính cơ lý của ván dăm phối trộn dăm vỏ Sầu riêng và dăm gỗ Cao su, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc phát triển vật liệu ván gỗ nhân tạo thân thiện với môi trường.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vỏ Sầu riêng được cung cấp từ cơ sở chế biến trái cây tại Cái Bè, tỉnh Tiền Giang. Phế liệu gỗ Cao su, bao gồm các đầu mẩu bìa rong, được thu thập từ xưởng xẻ của một nhà máy chế biến gỗ Cao su tại tỉnh Bình Dương. Vỏ Sầu riêng và phế liệu gỗ Cao su được gia công thành dăm có kích thước tương đối đồng đều trong nhóm phân loại.

Quá trình tạo dăm từ hai loại nguyên liệu này bao gồm hai bước: Đầu tiên, nguyên liệu được cắt, băm thành các dăm mảnh, sau đó tiếp tục được đưa qua máy băm dăm có lỗ sàng nhỏ để tạo ra dăm mịn hơn.

Dăm gỗ Cao su và dăm vỏ Sầu riêng sau khi tạo thành được sấy khô trong lò sấy thí nghiệm ở nhiệt độ 105°C cho đến độ ẩm khoảng 4 – 6%. Sau khi sấy khô, dăm được sàng để loại bỏ bụi mịn, sau đó tiếp tục được sàng phân loại thành hai nhóm kích thước dựa trên lỗ sàng: 0,5 – 2 mm và 2 – 4 mm (Hình 1). Tỷ lệ của 2 loại kích thước dăm (to/nhỏ) là 50/50; Lượng dăm đưa vào sản xuất thử nghiệm theo tỷ lệ phối trộn quy định cho từng nghiệm thức trong quy hoạch thực nghiệm.

Chất kết dính sử dụng trong nghiên cứu là keo urea-formaldehyde (UF), do một nhà sản xuất keo công nghiệp trong nước cung cấp, có hàm lượng chất rắn 60%, độ nhớt 50 cPs và pH là 7,5.



(a)



(b)



(c)



(d)

Hình 1. Dăm vỏ Sầu riêng và dăm gỗ Cao su sử dụng trong quá trình sản xuất ván dăm thử nghiệm

(a) dăm vỏ Sầu riêng kích thước 0,5 – 2 mm, (b) dăm vỏ Sầu riêng kích thước 2 – 4 mm,
(c) dăm gỗ Cao su kích thước 0,5 – 2 mm, (d) dăm gỗ Cao su kích thước 2 – 4 mm

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp đáp ứng bề mặt và phương án cấu trúc có tâm

Trong nghiên cứu này, phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM) kết hợp với thiết kế cấu trúc tâm (CCD) được sử dụng nhằm phân tích ảnh hưởng của hai yếu tố đầu vào gồm tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng (DHR) và tỷ lệ keo UF (UFR) đến ba chỉ tiêu cơ lý của ván dăm: Độ trương nở chiều dày (TS), độ bền uốn tĩnh (MOR) và độ bền liên kết (IB).

Thiết kế thí nghiệm bao gồm chín nghiệm thức khảo nghiệm, được xây dựng bằng phần mềm Minitab phiên bản 21.2. Phạm vi khảo sát đối với DHR nằm trong khoảng 4% đến 46%, trong khi UFR được thay đổi từ 5% đến 13%. Trong đó, bốn nghiệm thức tại các mức dưới và mức trên được thiết lập tại 10% và 40% đối với DHR, cũng như 6% và 12% đối với UFR. Chi tiết các nghiệm thức khảo nghiệm được xây dựng dựa trên mô hình RSM kết hợp CCD được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các nghiệm thức khảo nghiệm sản xuất ván dăm

NT	Tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng DHR (%)	Tỷ lệ keo UF UFR (%)
NT1	10	6
NT2	40	6
NT3	10	12
NT4	40	12
NT5	4	9
NT6	46	9
NT7	25	5
NT8	25	13
NT9	25	9

2.2.2. Tạo ván dăm

Ván dăm một lớp từ hỗn hợp dăm vỏ Sầu riêng và dăm gỗ Cao su có kích thước 360×360 mm, chiều dày 12 mm, và khối lượng riêng $0,65 \text{ g/cm}^3$. Tỷ lệ dăm vỏ Sầu riêng được sử dụng theo khoảng biến thiên nghiên cứu từ 4% đến 46%, và tỷ lệ keo UF với khoảng thử nghiệm từ 5% đến 13%, tương ứng theo các nghiệm thức thực hiện theo thiết kế mô hình RSM (Bảng 1).

Quá trình ép ván được thực hiện ở nhiệt độ 140°C , áp suất 2,5 MPa và thời gian ép 9 phút. Mỗi nghiệm thức khảo nghiệm được lặp lại ba lần, tổng cộng 27 tấm ván dăm thử nghiệm được thực hiện.

2.2.3. Phân tích thành phần hóa học của vỏ Sầu riêng

Thành phần hóa học của vỏ Sầu riêng được phân tích theo tiêu chuẩn TAPPI. Hàm lượng cellulose và hemicellulose được xác định theo tiêu chuẩn TAPPI T 203 cm-22 [5], hàm lượng lignin được xác định theo TAPPI T 222 om-21 [6].

2.2.4. Xác định một số đặc tính cơ lý của ván dăm

Các mẫu thử cơ lý được cắt từ ván thí nghiệm với kích thước 50×50 mm cho thử nghiệm độ trương nở chiều dày (TS) và độ bền liên kết (IB), và 290×50 mm cho thử nghiệm độ bền uốn tĩnh (MOR). Sau khi cắt, các mẫu được ổn định đến khối lượng không đổi trong tủ vi khí hậu ở điều kiện 65% độ ẩm tương đối và 20°C . Khối lượng không đổi được xác định

khi sai khác giữa hai lần cân liên tiếp cách nhau 24 giờ không vượt quá 0,1% khối lượng mẫu.

Các chỉ tiêu TS, MOR và IB được đánh giá lần lượt theo các tiêu chuẩn EN 317:1993 [7], EN 310:1993 [8] và EN 319:1993 [9]. Kết quả được so sánh với yêu cầu kỹ thuật đối với ván dăm thông thường sử dụng trong điều kiện khô (loại P1) theo tiêu chuẩn EN 312:2010 [10].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần hóa học của vỏ Sầu riêng

Kết quả phân tích thành phần hóa học của vỏ Sầu riêng cho thấy hàm lượng cellulose đạt 59,38%, hemicellulose là 13,46% và lignin là 15,92 %. Các giá trị này dường như tương đồng với kết quả thành phần hóa học của vỏ Sầu riêng trong nghiên cứu của Khedari và cộng sự [11]. So sánh với gỗ Cao su, vỏ Sầu riêng có hàm lượng cellulose cao hơn 49,57%, trong khi hàm lượng hemicellulose và lignin lần lượt thấp hơn 55,72% và 20,8% [12]. Với hàm lượng cellulose cao và tỷ lệ lignin ở mức hợp lý, vỏ Sầu riêng được xem là nguồn nguyên liệu sinh học có tiềm năng, phù hợp để ứng dụng trong sản xuất ván dăm.

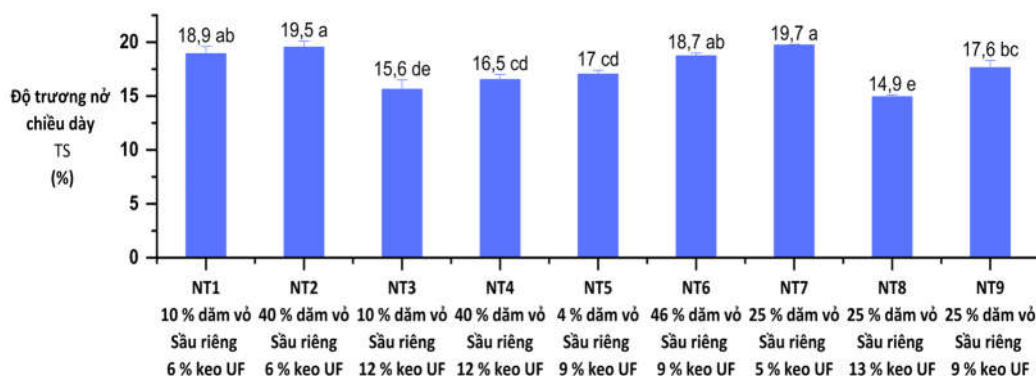
3.2. Đặc tính cơ lý của ván dăm khảo nghiệm

Các đặc tính cơ lý của ván dăm khảo nghiệm, bao gồm độ trương nở chiều dày (TS), độ bền uốn tĩnh (MOR), và độ bền liên kết (IB), được trình bày trong Hình 2 và Hình 3. Các giá trị trung bình được so sánh bằng kiểm định Tukey với mức ý nghĩa $p < 0,05$. Các chữ cái nhỏ (a, b,

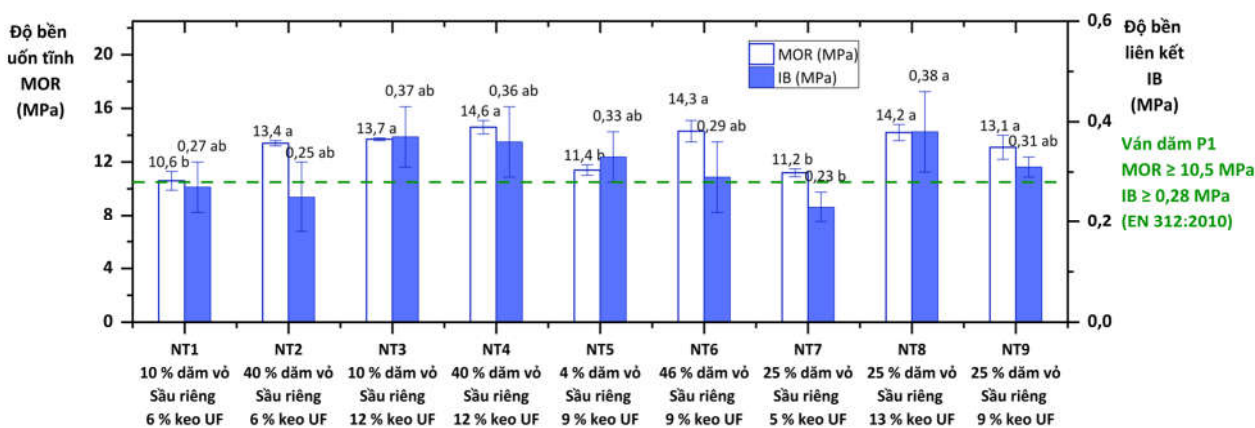
ab...) cho biết các nhóm không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê khi cùng chữ cái, và có sự khác biệt khi mang chữ cái khác nhau.

Giá trị TS thấp nhất ghi nhận được là 14,9%, tương ứng với tỷ lệ phối trộn 25% dăm vỏ Sầu riêng và 13% keo UF (Hình 2). Giá trị MOR cao

nhất đạt 14,6 MPa khi sử dụng 40% dăm vỏ Sầu riêng kết hợp với 12% keo UF. Trong khi đó, giá trị IB cao nhất là 0,38 MPa được ghi nhận ở nghiệm thức có 25% dăm vỏ Sầu riêng và 13% keo UF (Hình 3).



Hình 2. Độ trương nở chiều dày qua các nghiệm thức khảo nghiệm



Hình 3. Độ bền uốn tĩnh và độ bền liên kết qua các nghiệm thức khảo nghiệm

Trong số các nghiệm thức khảo nghiệm, sáu nghiệm thức đáp ứng được yêu cầu về ứng suất uốn tĩnh (MOR) và độ bền liên kết (IB) của ván dăm loại P1 sử dụng trong điều kiện khô, theo tiêu chuẩn EN 312:2010 [10], với giá trị MOR và IB không thấp hơn lần lượt là 10,5 MPa và 0,28 MPa (Hình 3).

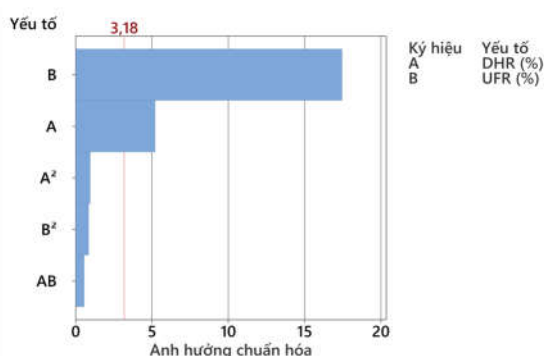
3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng và tỷ lệ keo UF đến độ trương nở chiều dày, độ bền uốn tĩnh, và độ bền liên kết của ván dăm

Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng và tỷ lệ keo UF ảnh hưởng có

ý nghĩa đến độ trương nở chiều dày, độ bền uốn tĩnh, và độ bền liên kết của ván dăm.

3.3.1. Ảnh hưởng đến độ trương nở chiều dày của ván dăm

Tác động riêng lẻ và tương tác giữa tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng (DHR) và tỷ lệ keo UF (UFR) đến độ trương nở chiều dày (TS) của ván dăm được phân tích thông qua biểu đồ Pareto (Hình 4), trong đó đường đứt nét biểu thị ngưỡng ý nghĩa thống kê tại mức tin cậy 95%. Kết quả phân tích cho thấy cả hai yếu tố đều có ảnh hưởng đáng kể đến TS, với tỷ lệ keo UF là yếu tố chi phối lớn nhất.

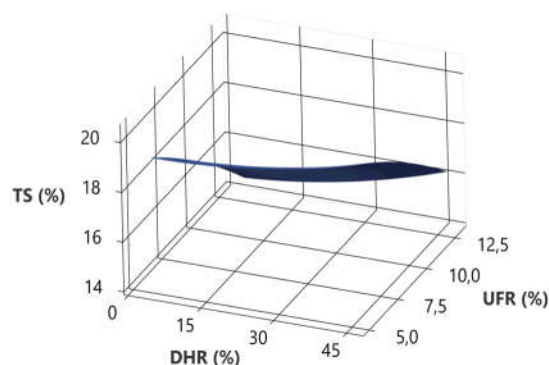


Hình 4. Biểu đồ Pareto cho độ trương nở chiều dày (TS)

Độ trương nở chiều dày có xu hướng giảm khi tỷ lệ dăm vỏ Sầu riêng giảm và hàm lượng keo UF tăng (Hình 5). Sự giảm TS được cho thấy có liên quan đến lượng keo cao hơn và hàm lượng lignin tăng trong hỗn hợp dăm khi tỷ lệ dăm gỗ Cao su tăng, do dăm gỗ Cao su chứa nhiều lignin hơn so với dăm vỏ Sầu riêng. Thành phần lignin và keo UF đều đã được xác định là các yếu tố góp phần hạn chế khả năng hút ẩm và cải thiện độ ổn định kích thước của ván [4]. Xu hướng này phù hợp với các kết quả đã được công bố trước đó về ván dăm sản xuất từ phụ phẩm nông nghiệp [13–17].

3.3.2. Ảnh hưởng đến độ bền uốn tĩnh và độ bền liên kết của ván dăm

Tương tự, ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng (DHR) và tỷ lệ keo UF (UFR) đến độ bền uốn tĩnh (MOR) và độ bền liên kết (IB) của ván dăm cũng được đánh giá thông qua biểu đồ Pareto (Hình 6). Kết quả cho thấy cả hai yếu tố

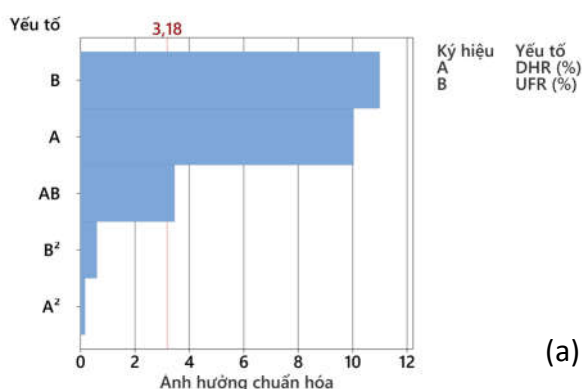


Hình 5. Đồ thị biểu hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng (DHR) và tỷ lệ keo UF (UFR) đến độ trương nở chiều dày (TS)

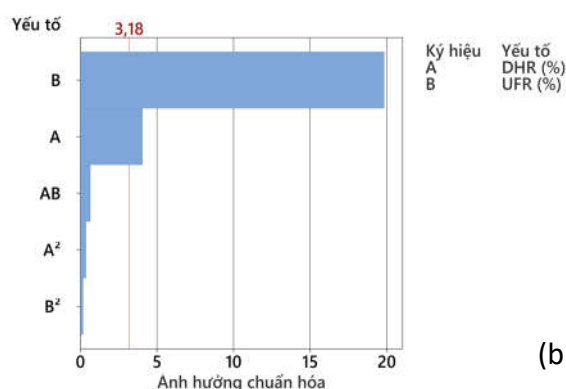
đều vào đều ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến MOR và IB, trong đó tỷ lệ keo UF là yếu tố có tác động mạnh nhất.

Giá trị MOR có xu hướng gia tăng khi tăng tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng và hàm lượng keo UF. Trong khi đó, độ bền liên kết được cải thiện khi sử dụng hàm lượng keo UF cao hơn, nhưng suy giảm khi tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng tăng (Hình 7).

Sự gia tăng hàm lượng keo UF và lignin đã được xác định là các yếu tố chính góp phần tăng cường liên kết giữa các phần tử dăm, từ đó cải thiện độ bền kết cấu của ván [17–19]. Đồng thời, hàm lượng cellulose cao hơn, tương ứng với tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng lớn hơn, cũng có vai trò tích cực trong việc nâng cao đặc tính cơ học [13, 14]. Những xu hướng này phù hợp với các kết luận từ các nghiên cứu trước đó về ứng dụng phụ phẩm nông nghiệp trong sản xuất ván gỗ nhân tạo [4, 15, 20–22].

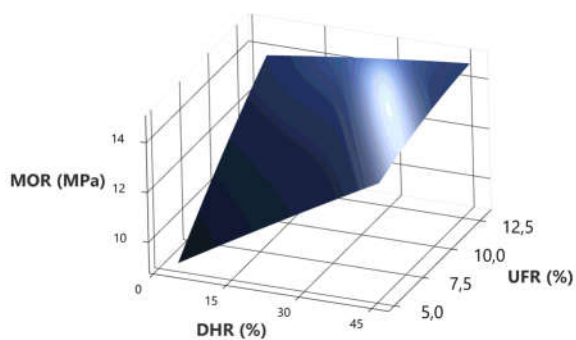


(a)

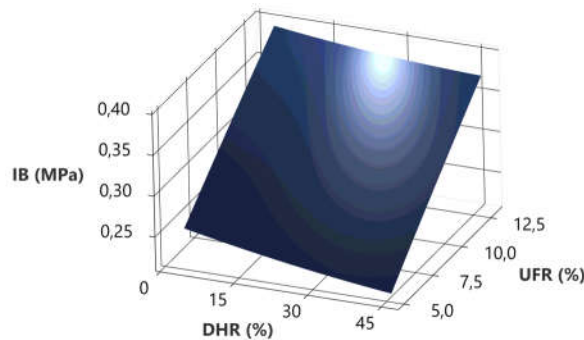


(b)

Hình 6. Biểu đồ Pareto cho (a) độ bền uốn tĩnh và (b) độ bền liên kết



(a)



(b)

Hình 7. Đồ thị biểu hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng (DHR) và tỷ lệ keo UF (UFR) đến (a) độ bền uốn tĩnh (MOR) và (b) độ bền liên kết (IB)

3.4. Phân tích hồi quy và độ phù hợp của mô hình

Mức độ phù hợp giữa mô hình hồi quy và dữ liệu thực nghiệm được xác định thông qua hệ số tương quan R^2 . Kết quả cho thấy giá trị R^2 đạt 99,12% đối với TS, 98,73% đối với MOR và 99,28% đối với IB, phản ánh mức độ tương thích cao giữa mô hình và dữ liệu thực tế. Hệ số R^2 điều chỉnh lần lượt đạt 97,64%, 96,62% và 98,07%, tiếp tục khẳng định tính ổn định và độ

tin cậy của mô hình trong điều kiện có nhiều biến độc lập, đồng thời cho thấy tiềm năng ứng dụng trong kiểm soát và tối ưu hóa quy trình sản xuất.

Dựa trên các hệ số có ý nghĩa thống kê, các phương trình hồi quy được xây dựng để mô tả ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn dăm vỏ Sầu riêng (DHR, %) và tỷ lệ keo UF (UFR, %) đến TS (%), MOR (MPa) và IB (MPa) như sau:

$$TS = 21,826 + 0,03266DHR - 0,5603UFR \quad (1)$$

$$MOR = 5,641 + 0,1603DHR + 0,6301UFR - 0,01056DHR \times UFR \quad (2)$$

$$IB = 0,1653 - 0,000724DHR + 0,018088UFR \quad (3)$$

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này khẳng định rằng ván dăm được sản xuất từ sự phối trộn giữa dăm vỏ Sầu riêng và dăm gỗ Cao su có các đặc tính cơ lý đáp ứng yêu cầu của ván dăm loại P1 sử dụng trong điều kiện khô, theo tiêu chuẩn EN 312:2010. Kết quả cho thấy tiềm năng ứng dụng phụ phẩm nông nghiệp trong sản xuất vật liệu thân thiện với môi trường, đồng thời nâng cao giá trị sử dụng của vỏ Sầu riêng.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Công ty Gain Plus và Công ty Crocodile Products đã tài trợ kinh phí để thực hiện công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Okeke F. O., Ahmed A., Imam A. & Hassanin H. (2024). Study on agricultural waste utilization in sustainable particleboard production. E3S Web of Conferences 563:

02007. DOI: 10.1051/e3sconf/202456302007

[2]. Mirindi D. (2024). A Review of Particleboard Development and Performance Using Non-Toxic and Biodegradable Adhesives. International Journal of Engineering Trends and Technology. 72(5): 252-260. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V72I5P126

[3]. China Research and Intelligence (2024). Vietnam Durian Export Research Report 2024-2033.

[4]. Lee S. H., Lum W. C., Boon J. G., Kristak L., Antov P., Pędzik M., Rogoziński T., Taghiyari H. R., Lubis M. A. R., Fatriasari W., Yadav S. M., Chotikhun A. & Pizzi A. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review. Journal of Materials Research and Technology. 20: 4630-4658. DOI: 10.1016/j.jmrt.2022.08.166

[5]. TAPPI (2022). Test Method T 203 cm-22—Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp.

[6]. TAPPI (2021). Test Method T 222 om-21—Acid-insoluble lignin in wood and pulp.

[7]. BSI (1993). EN 317:1993—Particleboards and fibreboards—Determination of swelling in thickness

after immersion in water.

[8]. BSI (1993). EN 310:1993—Wood-based panels—Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.

[9]. BSI (1993). EN 319:1993—Particleboards and fibreboards—Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board.

[10]. BSI (2010). EN 312:2010—Particleboards—Specifications.

[11]. Khedari J., Nankongnab N., Hirunlabh J. & Teekasap S. (2004). New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Building and Environment*. 39(1): 59-65.

DOI: 10.1016/j.buildenv.2003.08.001

[12]. Riyaphan J., Phumichai T., Neimsuwan T., Witayakran S., Sungsing K., Kaveeta R. & Phumichai C. (2015). Variability in chemical and mechanical properties of Pará rubber (*Hevea brasiliensis*) trees. *ScienceAsia*. 41(4): 251-258. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2015.41.251.

[13]. Bardak S., Nemli G. & Tiryaki S. (2017). The influence of raw material growth region, anatomical structure and chemical composition of wood on the quality properties of particleboards. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 19(3): 363-372. DOI: 10.4067/S0718-221X2017005000031

[14]. Saropas N., Huijisut P., Noratad S., Supansomboon S., Wanakamol P. & Supansomboon S. (2024). Mechanical and Physical Properties of Binderless Particleboard from Rice Straw and Banana Pseudostem. *Current Applied Science and Technology*. 25(1): e0262175. DOI: 10.55003/cast.2024.262175

[15]. Liang J., Wu J. & Xu J. (2021). Low-formaldehyde emission composite particleboard manufactured from waste chestnut bur. *Journal of Wood Science*. 67: 21. DOI: 10.1186/s10086-021-01955-x

[16]. Chandroji Rao K. M., Sheshagiri M. B., Ramamoorthy R. V., Amran M., Nandanwar A., Vijayakumar P., Avudaiappan S. & Guindos P. (2024). Effect of density on acoustic and thermal properties of low-density particle boards made from agro-residues:

Towards sustainable material solutions. *BioResources*. 20(1): 601-624. DOI: 10.15376/biores.20.1.601-624

[17]. Boon J. G., Hashim R., Sulaiman O., Sugimoto T., Sato M., Salim N., Amini M. H. M., Nor Izaida I. & Sitti Fatimah M. R. (2017). Importance of lignin on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 12(1): 33-40. Retrieved from https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5578.pdf on December 15, 2024.

[18]. Vitrone F., Ramos D., Ferrando F. & Salvadó J. (2021). Binderless fiberboards for sustainable construction. Materials, production methods and applications. *Journal of Building Engineering*. 44: 102625. DOI: 10.1016/j.job.2021.102625

[19]. Hubbe M. A., Pizzi A., Zhang H. & Halis R. (2017). Critical Links Governing Performance of Self-binding and Natural Binders for Hot-pressed Reconstituted Lignocellulosic Board without Added Formaldehyde: A Review. *BioResources*. 13(1): 2049-2115.

DOI: 10.15376/biores.13.1.Hubbe

[20]. Tarigan F. O., Hakim L., Purwoko A., Sucipto T., Nasution H., Fatriasari W., Lubis M. A. R., Sutiawan J., Bakhsi M. I., Kim N.-H., Antov P., Lee S. H., Selvasembian R., Hussin M. H., Aristri M. A. & Iswanto A. H. (2025). Development and Characterization of Novel Hybrid Particleboard Made from Several Non-Wood Lignocellulosic Materials. *Polymers*. 17(4): 512.

DOI: 10.3390/polym17040512

[21]. Tang Thi Kim Hong, Nguyen Duy Linh & Ho Thi Thuy Dung (2019). Optimum condition of manufacturing hybrid particleboard from mixture of cocoa pod husk and bamboo particles. *The Journal of Agriculture and Development*. 18(3): 10-15.

DOI: 10.52997/jad.2.03.2019

[22]. Tang Thi Kim Hong & Nguyen Duy Linh (2020). Investigation on producing single-layer particleboard from bamboo waste and cocoa pod husks. *Journal of Forestry Science and Technology*. 9: 136-141.