Tạp chí KHLN Số 2/2026: 128 - 135
©: Viện KHLNVN - VAFS
DOI: https://doi.org/10.70169/VJFS.1173
ISSN: 1859 - 0373 Đăng tải tại: https://vjfs.vafs.gov.vn

ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ AXÍT SUNPHURIC (H_2SO_4) ĐẾN HIỆU SUẤT THU HỒI VÀ NHÓM CHỨC TRONG QUÁ TRÌNH TÁCH LIGNIN TỪ DỊCH ĐEN CỦA CHẤT THẢI NGÀNH CÔNG NGHIỆP GIẤY VÀ BỘT GIẤY

Hoàng Văn Phong, Bùi Hữu Thưởng, Đoàn Thị Bích Ngọc, Hoàng Thị Tám, Lưu Quốc Thành, Vũ Thị Hồng Thắm, Trần Văn Vũ

Viện Nghiên cứu Công nghiệp rừng

TÓM TẮT

Dịch đen, hiện đang được đốt trong lò hơi thu hồi của nhà máy bột giấy sunphat, có thể được thu hồi lignin và chuyển đổi thành nhiều sản phẩm sinh học bằng quy trình kết tủa axít. Trong nghiên cứu này, phần dịch đen được tách từ hệ thống chưng bốc để kết tủa lignin. Dịch đen dùng để thu hồi lignin bằng phương pháp xử lý axít trong nghiên cứu này được lấy từ dịch thải Nhà máy Giấy Bãi Bằng (Phú Thọ). Lignin kết tủa được xút hóa trở lại và rửa bằng axít sunphuric và nước để loại bỏ tạp chất. Nghiên cứu này đã xác định ảnh hưởng của sự thay đổi nồng độ H_2SO_4 (nồng độ 14%, 20%, 26%, 32% khối lượng) đến hiệu suất chiết tách lignin, và so sánh các nhóm chức giữa lignin tạp chất và lignin tinh khiết bằng phương pháp phân tích phổ FT - IR. Dựa trên kết quả nghiên cứu, lignin thô cho hiệu suất cao nhất khi chiết có mặt axít H_2SO_4 là 50,81% trong khi lignin tinh khiết là 21,89% với nồng độ axít H_2SO_4 là 20% và màu sắc của lignin thu được có xu hướng tương tự lignin tinh khiết. Ngoài ra, nhóm lignin trong nghiên cứu này có đỉnh tương đồng giữa lignin tinh khiết so với lignin thô.

Từ khóa: Dịch đen, FT - IR, lignin.

THE EFFECT OF ACID CONCENTRATION (H_2SO_4) ON THE YIELD AND FUNCTIONAL GROUP DURING LIGNIN ISOLATION FORM BLACK LIQUOR OF WASTE PULP AND PAPER INDUSTRY

Hoang Van Phong, Bui Huu Thuong, Doan Thi Bich Ngoc, Hoang Thi Tam, Luu Quoc Thanh, Vu Thi Hong Tham, Tran Van Vu

Research Institute of Forest Industry

ABSTRACT

Black liquor, which is currently incinerated in the recovery boiler of the kraft pulp mill, can be recovered and converted into a wide range of bio - based products through acid precipitation. In this study, a portion of the black liquor was extracted from the evaporation system to precipitate lignin. The black liquor used for lignin recovery via acid treatment was sourced from black liquor generated by the Bai Bang paper mill (Phu Tho province).The precipitated lignin was re - alkalized and subsequently washed with sunphuric acid (H_2SO_4) and water to remove impurities. This study investigates the effect of varying H_2SO_4 concentrations (14%, 20%, 26%, and 32% by weight) on lignin extraction yield, and compares the functional groups of impure and purified lignin using fourier - transform infrared spectroscopy (FT-IR). According to the results, crude lignin yielded the highest extraction efficiency at 50.81% when treated with H_2SO_4, while purified lignin yielded 21.89% at an acid concentration of 20%. The color of the extracted lignin tended to resemble that of purified lignin. Additionally, the FT - IR spectra revealed that the functional group peaks of the lignin obtained in this study closely matched those of purified lignin more than those of crude lignin.

Keywords: Black liquor, FT - IR, lignin.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lignin được coi là hợp chất cao phân tử tự nhiên phổ biến thứ hai trên Trái đất. Trong quá trình sản xuất bột giấy kraft, lignin được tách ra một cách chọn lọc từ gỗ và đốt trong lò hơi thu hồi để tạo ra hơi nước và năng lượng cho quy trình. Thay vì sử dụng lignin để tạo ra năng lượng, lignin có thể được tách ra và chuyển đổi thành nhiều loại sản phẩm sinh học như nhựa phenolic và sợi carbon, mang lại lợi nhuận cao hơn. Hơn nữa, việc loại bỏ lignin có thể giúp giảm tải lò hơi thu hồi đã đạt đến mức tối đa thiết kế nhiệt, do đó giải quyết được một nút thắt lớn trong việc tăng sản lượng bột giấy.

Một số quy trình chiết tách lignin từ dịch đen đã được đề xuất, trong đó kết tủa axít hiện đang được thương mại hóa. Trong quy trình này, dịch đen được axít hóa để kết tủa lignin. Lignin được tách ra và sau đó rửa bằng axít sunphuric loãng để loại bỏ tạp chất và tạo ra lignin tinh khiết cho các quá trình xử lý tiếp theo. Trong số các biến số của quy trình kết tủa axít có quy trình LigninoForce SystemTM do FPInnomation phát triển và quy trình LignoboostTM do Innventia phát triển (Kouisni *et al.*, 2011; Tomani, *et al.*, 2010).

Dịch đen gây ô nhiễm môi trường nếu thải ra môi trường mà không qua xử lý đúng cách. Cho đến nay, Nhà máy Giấy Bãi Bằng (Phú Thọ) sử dụng dịch đen làm nhiên liệu cho lò hơi. Trong nghiên cứu này, dịch đen đã được tách ra và hàm lượng lignin của nó đã được xác định. Phương pháp tách được sử dụng là phương pháp lắng đọng với axít H_2SO_4 để kết tủa chất rắn của nó (Ma'ruf *et al.*, 2017).

Lignin là thành phần lớn nhất được tìm thấy trong dung dịch còn lại của nồi nấu bột giấy. Lignin chiếm 22,9% khối lượng chất rắn khô trong dịch đen sulphate gỗ mềm (Junaedi, 2011), hoặc 14,6% theo nghiên cứu của Priyanto (2018). Lignin có thể được sử dụng làm nhiên liệu nếu nó thực sự ổn định (Syahbirin và Gustini, 2009). Lignin cũng có thể được sử dụng làm chất hoạt động bề mặt (Lubis, 2007). Dịch đen trong nghiên cứu này được sử dụng từ gỗ Keo tai tượng *Acacia mangium* Willd. Nghiên cứu này nhằm mục đích tìm hiểu ảnh hưởng của nồng độ axít sunphuric (H_2SO_4) tốt nhất để tạo ra sản lượng lignin lớn nhất và mô tả đặc tính của lignin tinh khiết so với phổ thu được từ phép đo phổ hồng ngoại (FTIR).

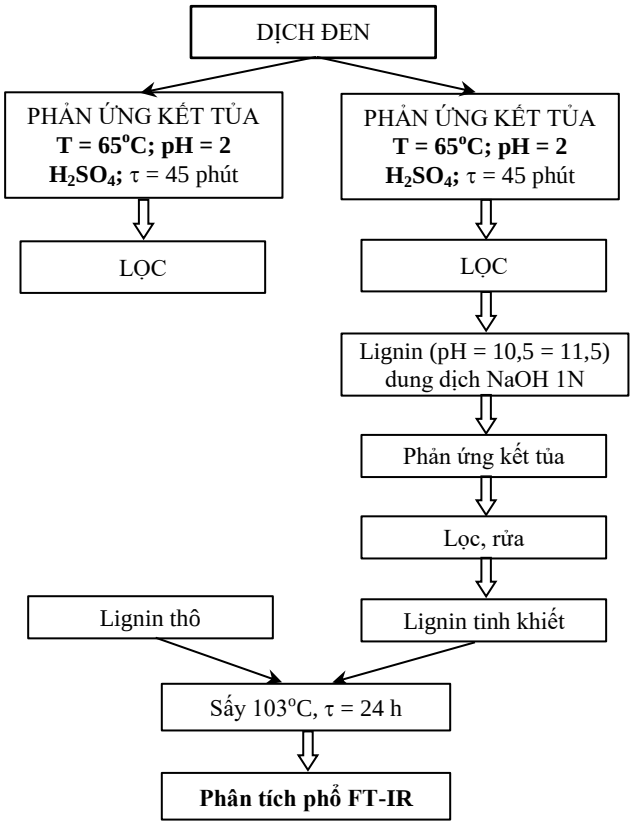
Nghiên cứu này được kỳ vọng sẽ là một giải pháp đa dạng hóa thay thế cho các sản phẩm lignin nhập khẩu, nhằm tăng cường chất hoạt động bề mặt từ dầu mỏ, vốn vẫn chiếm ưu thế trong nhu cầu sử dụng nội địa của Việt Nam. Dịch đen do ngành công nghiệp bột giấy Việt Nam sản xuất chỉ được sử dụng làm nhiên liệu lò hơi. Hàm lượng lignin cao trong dịch đen có thể được phân lập và tổng hợp với các hợp chất bisulfit thành chất hoạt động bề mặt có giá trị kinh tế cao, từ đó giảm lượng nhập khẩu chất hoạt động bề mặt.

Nghiên cứu này sẽ giải quyết thách thức trong việc thu được lignin tinh khiết từ chất thải nhà máy giấy.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Nguyên liệu dịch đen sử dụng là dịch đen của Nhà máy Giấy Bãi Bằng thuộc Tổng công ty Giấy và Bột giấy Việt Nam (Phú Thọ). Hóa chất từ Cửa hàng vật tư khoa học kỹ thuật và thiết bị thí nghiệm. Sơ đồ quy trình nghiên cứu được trình bày trong hình 1. Nghiên cứu được thực hiện tại phòng thí nghiệm tách chiết của Viện Nghiên cứu Công nghiệp rừng, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam. Các bước nghiên cứu được thực hiện theo trình tự sau:



Hình 1. Sơ đồ minh họa quy trình tách lignin

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Tách lignin

Phương pháp tách lignin được sử dụng dựa trên phương pháp do Kim và đồng tác giả (1987) phát triển. Đầu tiên, dịch đen sử dụng tách lignin với các thông số cơ bản trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của dịch đen

Thông số	pH	Độ nhớt (mPa.s)	Tỷ trọng (g/ml)	Hàm lượng chất khô (%)
Giá trị	13,96	400	1,045	41,2

Tách lignin thô:

Dịch đen với hàm lượng khô 41,2%, được hòa tan với nước trong cốc thủy tinh có mỏ với tỷ lệ khối lượng 1:1. Sau đó, dịch đen tăng nhiệt độ cần thiết và được nạp từ từ bằng H_2SO_4 cho đến khi pH đạt 2, lúc này dịch đen chuyển sang màu nâu. Quá trình tách được thực hiện bằng cách khuấy nhanh. Nếu trong quá trình khuấy, bọt hình thành, hãy dừng cấp nhiệt và giảm tốc độ khuấy xuống thấp cho đến khi bọt biến mất, sau đó tiếp tục tách và khuấy nhanh. Dung dịch tách sau đó được tách bằng phễu lọc Büchner đường kính 150 mm với máy hút chân không. Sau khi tách hoàn tất, cặn ở dạng rắn (là lignin thô), phần chất lỏng được loại bỏ.

Tách lignin tinh khiết:

Để tăng độ tinh khiết của lignin, lignin thô được hòa tan với dung dịch NaOH 1N cho đến khi pH khoảng 10,5 - 11,5, sau đó dung dịch được lọc bằng giấy lọc đường kính 15 cm. Sau khi lọc xong, dung dịch được kết tủa bằng cách nhỏ từng giọt H_2SO_4 14% cho đến khi pH trở về 2. Dung dịch đã được axít hóa bằng H_2SO_4 được lọc bằng giấy lọc. Sau khi lọc, kết quả lắng cặn ở dạng rắn được rửa bằng nước với 6 lần thể tích lignin cho đến khi pH đạt giá trị hằng số (pH trung tính), và loại bỏ dịch lọc. Sau khi lọc, kết quả lắng cặn ở dạng rắn, có thể gọi là lignin tinh khiết, lignin được sấy ở nhiệt độ 103°C với thời gian 24 giờ. Xác định hiệu suất tách lignin tinh khiết sẽ được tính theo công thức:

$$H\%=\frac{W_{\text{Lignin tinh khiết}}}{W_{\text{hàm lượng khô dịch đen}}}\times 100$$

Các bước trên được lặp lại đối với các mức nồng độ axít khác nhau 20%, 26%, 32%.

2.2.2. Phân tích phổ và quan sát nhóm chức của lignin

Sau khi thu được lignin thô và lignin tinh khiết, mẫu lignin được phân tích phổ và đặc tính quan sát các nhóm chức qua quang phổ bằng phương pháp quang phổ FT - IR (Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier).

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Ảnh hưởng của sự thay đổi nồng độ axít (H_2SO_4) đến hiệu suất tách lignin được thể hiện trong bảng 2. Việc tách lignin từ dịch đen tốt nhất là sử dụng axít sunphuric (H_2SO_4), đặc biệt là để kết tủa lignin. Điều này phù hợp với quan điểm của Kim và đồng tác giả (1987) cho rằng sử dụng H_2SO_4 để tách lignin tốt hơn so với sử dụng HCl, vì lignin thu được chứa các cation kim loại như Na^+ thấp hơn so với khi tách bằng HCl. Theo Damat (1989), để tách lignin từ dịch đen của quá trình nấu bột giấy, nên sử dụng axít sunphuric (H_2SO_4) cho hiệu quả hơn về mặt kinh tế. Ngoài ra, việc sử dụng axít sunphuric cũng sẽ phân hủy các chất hữu cơ không phải lignin.

Axít sẽ kết tủa lignin từ dịch đen vì lignin không tan trong dung dịch axít. Nồng độ được sử dụng để tách lignin thay đổi, cụ thể là nồng độ H_2SO_4 14%, 20%, 26%, 32%. Nồng độ axít được sử dụng nằm trong khoảng 5 đến 20% (Lubis *et al.*, 2007) để ngăn quá trình axít hóa một phần đạt được độ axít đồng đều. Lignin thu được ở dạng bột lignin. Trong thí nghiệm này, người ta thấy rằng lignin tốt nhất ở nồng độ H_2SO_4 20%. Điều này được thể hiện qua lượng lignin rắn (hiệu suất) được tạo ra từ quá trình tách lignin, đạt 21,89%. Kết quả của thí nghiệm này tương tự như kết quả nghiên cứu của Lubis (2007) và Syahbirin (2009), trong đó nồng độ axít tạo ra nhiều lignin rắn nhất ở nồng độ axít H_2SO_4 20%. Về mặt lý thuyết, độ axít càng cao thì việc phân hủy lignin từ các thành phần không phải lignin có trong chất cần tách càng dễ dàng. Nhưng nếu dung dịch có nồng độ axít cao thì hệ số phá hủy lignin càng lớn. Kết quả tách lignin bằng H_2SO_4 20% có độ tương quan cao hơn các nồng độ khác. Điều này là do nồng độ tăng lên của các hợp chất hữu cơ không phải lignin hòa tan trong axít như polysacchrides có trong dịch đen dễ bị phân hủy nên tạo ra nhiều lignin hơn (Pramudôn, 2012). Theo Fengel và Wegener (1995), polysaccharides là chất gây ô nhiễm phổ biến nhất trong quá trình tách lignin. Hàm lượng các polysaccharides khác phụ thuộc rất nhiều vào quá trình tách, loại gỗ và quá trình lọc rửa lignin.

Hàm lượng lignin thấp ở nồng độ H_2SO_4 thấp cho thấy kết quả tách lignin vẫn còn chứa nhiều chất không phải là lignin. Theo Damat (1989), hàm lượng không phải là lignin, tức là nhiều chất rắn lingin sau khi tách, cho thấy quá trình phân hủy polysaccharide và tách chúng khỏi hàm lượng không phải lignin vẫn chưa hoàn toàn.

Bảng 2. Hiệu suất thu hồi lignin với nồng độ axít khác nhau

Lignin	H_2SO_4 14%	H_2SO_4 20%	H_2SO_4 26%	H_2SO_4 32%
Lignin thô	48,15	50,81	47,78	45,02
Lignin tinh khiết	19,59	21,89	14,79	19,57

Sự phân hủy polysaccharide có thể xảy ra trong điều kiện axít mạnh. Damat (1989) cho rằng ngoài việc bổ sung axít vào quá trình tách, độ pH thấp của lignin còn do sự hiện diện của các thành phần không phải lignin có tính axít hơn, chẳng hạn như axít formic, axít axetic và axít lactic.

Dựa trên hình 2, có sự khác biệt đáng kể về màu sắc của lignin tinh khiết. Lignin tinh khiết với

nồng độ H_2SO_4 biến thiên 20% có màu nhạt hơn so với lignin tinh khiết với các nồng độ H_2SO_4 khác nhau. Do đó, dựa trên màu sắc, lignin tinh khiết với nồng độ H_2SO_4 20% cho kết quả tốt nhất, bên cạnh đó hiệu suất thu hồi lignin cao nhất là 50,81%. Các nhóm chức năng trong lignin thô, lignin tinh khiết. Các mẫu lignin được tách ra từ điều kiện tách tốt nhất và cho hiệu suất tách cao nhất, sau đó được xác định bằng máy quang phổ FTIR.

a. Lignin kết tủa với H_2SO_4 14%

b. Lignin kết tủa với H_2SO_4 20%

c. Lignin kết tủa với H_2SO_4 26%

d. Lignin kết tủa với H_2SO_4 32 %

Hình 2. Lingin tinh khiết từ quá trình tách lignin với sự thay đổi nồng độ H_2SO_4 là 14%, 20%, 26%, 32%

Bảng 3. Phổ FTIR đối với lignin thô và lignin tinh khiết

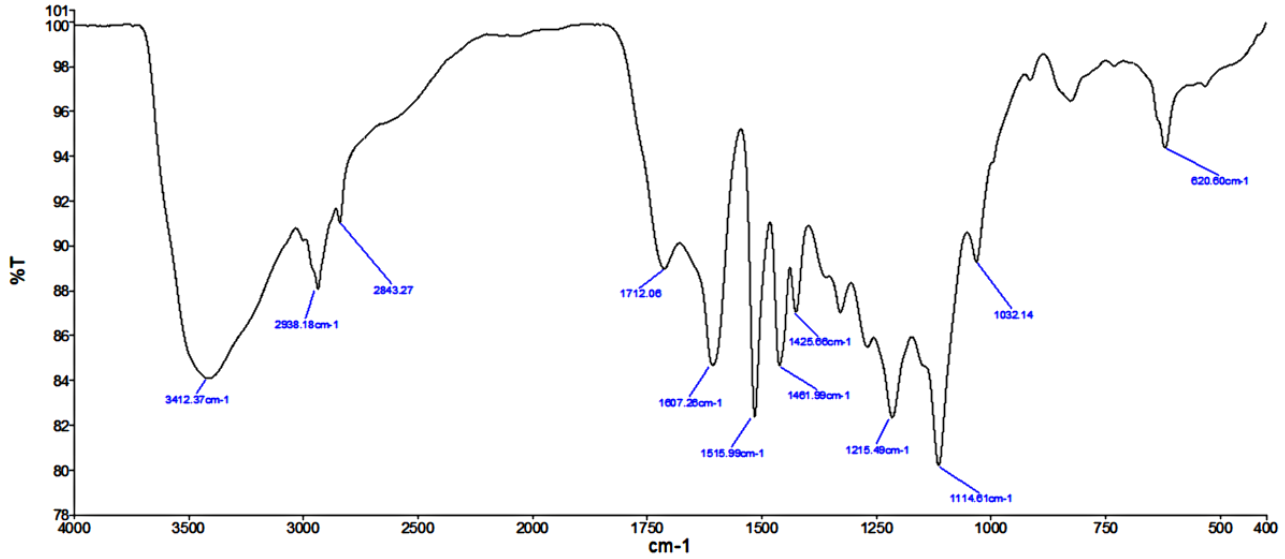
Số	Lignin tinh khiết (cm^{-1})	Lignin thô (cm^{-1})	Vị trí (cm^{-1}) (*)	Vai trò nhóm (*)
1	3430.86	3412.37	3540 - 3400	OH
2	2933.95	2938.18	3000 - 2842	C-H metyl và metylen
3	2842.30	2843.27	2940 - 2820	OH on metyl và metylen
4	1714.47	1712.06	1715 - 1710	C = O và vòng thơm
5	-	-	1605 - 1600	Vòng thơm dao động
6	1515.84	1515.99	1515 - 1505	Vòng thơm dao động
7	1461.95	1461.99	1470 - 1460	Biến dạng C - H (asimetric)
8	1427.46	1425.66	1430 - 1425	Thơm dao động
9	1326.16	-	1330 - 1325	Dao động syringyl
10	-	-	1270 - 1275	Dao động guaiasyl
11	-	-	915 - 925	C - H; nhóm thơm

Ghi chú: theo Hergert (1971), Lubis (2007), Lin và C.W. Dence (1993).*

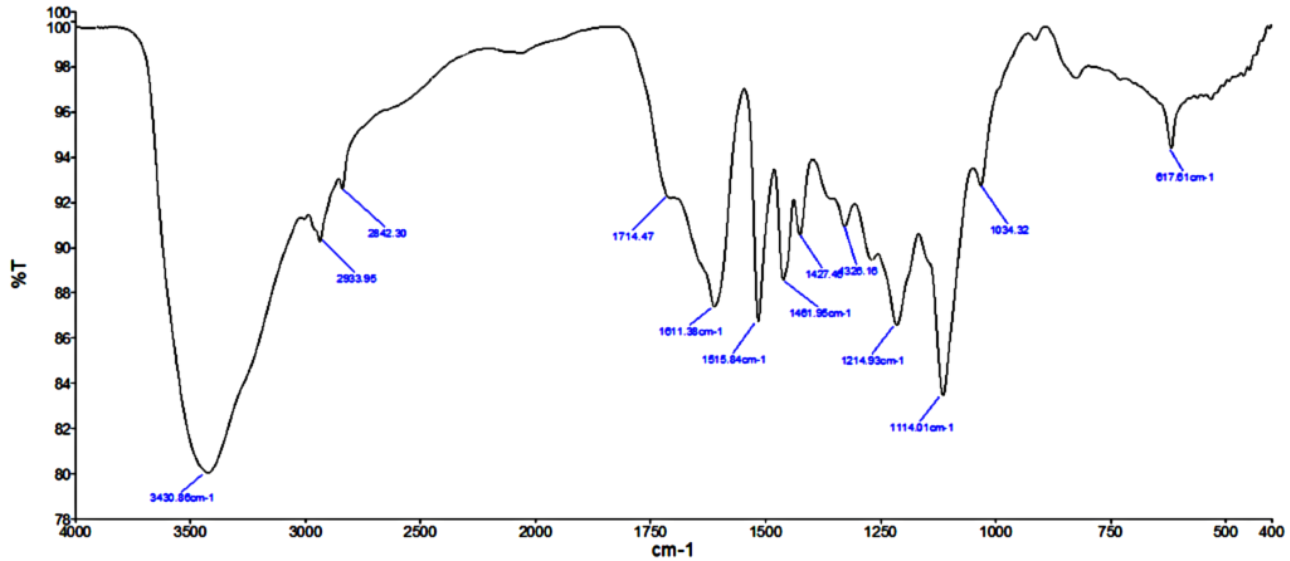
Điều kiện với hiệu suất tách lignin sunphat cao nhất được tách ra từ dịch đen sunphat với nồng độ H_2SO_4 20%. So với lignin tinh khiết có lọc, rửa và lọc được sử dụng, lignin sunphat được tách ra còn với mục đích phân tích nhóm chức năng là xác định các nhóm chức năng tồn tại trong lignin từ kết quả tách và lignin tinh khiết được sử dụng.

Kết quả xác định nhóm chức năng của lignin tách bằng FTIR cho thấy phổ hấp thụ quang phổ tương đồng nhất với lignin sunphat tinh khiết. Kết quả xác định hai lignin được thể hiện trong hình 3, hình 4 và bảng 3. Dựa trên hình 3 và hình 4, kết quả xác định nhóm chức năng với lignin tinh khiết FTIR và lignin thô cho thấy phổ hấp thụ ở các vùng có số sóng tương tự nhau. Có thể thấy rằng các nhóm chức năng trong lignin tinh khiết có nhiều điểm tương đồng hơn so với các nhóm chức năng trong lignin thô.

Trong bảng 3 có thể thấy rằng lignin thô và lignin tinh khiết nằm trong dải hấp thụ của máy quang phổ FTIR.



Hình 3. Phổ FTIR cho lignin thô



Hình 4. Phổ FTIR cho lignin tinh khiết

Dải hấp thụ trong khoảng 3540 - 3400 cm^{-1}, cho thấy lignin thô và lignin tinh khiết không có đoạn C = O không liên hợp với vòng thơm. Lubis (2007) giải thích rằng đoạn C = O không liên hợp với vòng thơm là một mạch carbon vòng (C_6) với liên kết C = O không liên hợp.

Lignin tinh khiết và lignin thô đều chứa các dao động vòng thơm trong khoảng 1500 - 1600 cm^{-1}, nhưng lignin tinh thiết chứa ít tạp chất. Tuy nhiên, trong khoảng dải hấp thụ 1270 - 1275 cm^{-1} chỉ có lignin tinh khiết và lignin thô cũng có. Trong khoảng dải hấp thụ, lignin có chứa guaiasyl, một trong những thành phần của lignin.

Acacia mangium Willd là một loại cây gỗ lá rộng. Chủ yếu hợp chất của lignin gỗ lá rộng bao gồm các nhóm syringyl và các nhóm guaiacyl. Nhưng dựa trên việc xác định các nhóm chức năng của các lignin tách ra bằng FTIR cho thấy các kết quả khác nhau. Sugesty (2012) đã nêu rằng lignin tinh khiết và lignin thô không chứa nhóm vòng syringyl và nhóm guaiacyl. Tuy nhiên, lignin tinh khiết được xác định chỉ chứa các nhóm guaiacyl và không chứa các nhóm syringyl. Theo Lubis (2007) có thể kết luận rằng lignin sunphat được sử dụng là lignin có nguồn gốc từ gỗ lá kim. Dựa trên nghiên cứu của Sugesty (2012), lignin có xu hướng chứa các nhóm guaiacyl chủ yếu có trong gỗ lá kim.

Theo Fengel (1995) cho rằng sự dịch chuyển số sóng có thể xảy ra do ảnh hưởng của cấu trúc ranh giới (ranh giới) lên lõi thơm chứa trong vật liệu được phân tích. Mặc dù phổ hồng ngoại là đặc trưng của các hợp chất có cấu trúc đã được biết chắc chắn, nhưng vẫn còn nhiều điểm chưa chắc chắn khi diễn dải phổ lignin IR. Điều này chủ yếu là do sự biến thiên lớn về cấu trúc và thành phần của lignin, phụ thuộc vào nguồn gốc mẫu và các quy trình phân lập đặc biệt.

IV. KẾT LUẬN

Nồng độ axít cao nhất H_2SO_4 là 20% với hiệu suất ligin thu được là 21,89% đối với lignin tinh khiết và 50,81% đối với lignin thô. Các nhóm chức năng chứa trong lignin tinh khiết có nhiều điểm tương đồng so với lignin thô.

Lời cảm ơn: *Bài viết này là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài độc lập cấp Bộ "Nghiên cứu công nghệ thu hồi lignin từ dịch đen trong sản xuất bột giấy, ứng dụng tạo keo Lignin Phenol Formaldehyde (LPF) để sản xuất ván gỗ dán chịu ẩm" theo Quyết định số 1701/QĐ-BNN-KHCN ngày 28/4/2023 của Bộ trưởng Bộ NN&PTNT. Tác giả xin cảm ơn Bộ Nông nghiệp và Môi trường đã tài trợ kinh phí cho nghiên cứu này. Tác giả xin chân thành cảm ơn các Chuyên gia phản biện và Ban biên tập đã có các góp ý quý báu để bài báo có chất lượng tốt hơn, đáp ứng được yêu cầu của Tạp chí.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Damat. 1989. Isolation of lignin from pulp mill cooking solution remaining by using H_2SO_4 and HCl. Department of Agricultural Industrial Technology, Faculty of Agricultural Technology, Bogor Agricultural University. Bogor.
2. Fengel D, Wegener G. 1995. Wood: Chemistry, ultrastructure, and reactions. Sastrohamidjojo H, translator. Yogyakarta: University Gajah Mada Press.
3. Hergert, H. L. 1971. Infrared spectra in lignins: Occurrence, formation, structure and reactions (Sarkanen, K.V. and Luwig, C.H., Eds). Wiley- Interscience, New York. Pp. 267-297.
4. Dalam Fengel, D. dan G. Wegener. 1995. Kayu: Kimia, Ultrastruktur dan Reaksi. Gadjah Mada Press University. Yogyakarta.
5. Junaedi Ahmad, 2011. Pulp data and statistics in Indonesia. Ministry of Forestry, Forestry Research and Development Agency. Bangkinang. (Data dan Statistika Pulp di Indonesia. Kementrian Kehutanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bangkinang).

6. Kim H, Hill MK, Friche AL., 1987. Preparation of kraft lignin from black liquor. Tappi Journal 70 (12): 112 - 116.
7. Kouisni, L., Fang, Y., Paleologou, M,Ahvazi, B., Hawari, J., Zhang, Y., and Wang, Y., 2011. Kraft lignin recovery and its use in the preparation of lignin - based phenol formaldehyde resins for plywood, Cellulose Chemistry and Technology, 45 (7 - 8): 515 - 520.
8. Lin, S. Y. dan C. W. Dence, 1992. Methods in lignin chemistry. State University of New York: New York.
9. Lubis A.A., 2007. Isolation of lignin from black liquor process cooking soda pulp and pulp sulphate (Kraft), cooking process of soda and pulp sulfate pulp (Kraft), Faculty of Agriculture, IPB, Bogor.
10. Ma'ruf, Pramudono, B, and Aryanti N., 2017. Optimization of lignin extraction from rice husk by alkaline hydrogen peroxide using response surface methodology Rasayan J. Chem., 10(2), 407. DOI:10.7324/RJC.2017.1021667
11. Priyanto, S., Pramudono, B., Kusworo, T. D., Suherman, Aji, H.A., Untoro, E., Ratu, P., 2018. Synthesis study of surfactants sodium ligno sulphonate (SLS) from biomass waste using fourier transform infra DOI:10.1051/matecconf/201815603030.
12. Syahbirin, Gustini, 2009. Utilization of kraft lignin from the black liquor pulp plant for the manufacture of sodium lignosulfonate and sulfonate hydroxymethyl phenol lignin sunphuric acid as dispersing material.
13. Sugesty, S., 2012, Analyzing Lignin Klason from Various Raw Materials. Cellulose and Paper Symposium, J. Chem Eng, 18, 1, 41 Red (FTIR), MATEC Web of Conferences, 2018, 156, 03030.
14. Tomani, P., 2010. "The lignoboost process", Cellulose Chemistry and Technology, 44 (1-3): 53 - 58.

Email tác giả liên hệ: doanngoc@vafs.gov.vn
Ngày nhận bài: 06/09/2025
Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 16/09/2025; 19/09/2025
Ngày duyệt đăng: 29/09/2025