

## Identifikasi dan Analisis Galaktomanan dari Bungkil Sawit sebagai Bahan Baku Biomaterial dengan Metode FTIR dan NMR

Amrina Amalia Yogananda<sup>a,1\*</sup>, Muhammad Alfian<sup>a,2</sup>, Nurul Faizah<sup>a,3</sup>, Anggun Cita Cahyani<sup>a,4</sup>, Selvia Yulianti<sup>a,5</sup>, Hisba Cahyani Irawan<sup>a,6</sup>, Rafly Restu Dwi Saputro<sup>a,7</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Farmasi, Fakultas Industri Halal, Universitas Nahdltul Ulama Yogyakarta, D.I Yogyakarta, Indonesia

<sup>1</sup> amrina@unu-jogja.ac.id, <sup>2</sup> muhammadalfian@unu-jogja.ac.id, <sup>3</sup> nurulfaizah@unu-jogja.ac.id

\*amrina@unu-jogja.ac.id

### Kata kunci:

Bungkil Sawit;  
Galaktomanan;  
FTIR;  
NMR

### ABSTRAK

Bungkil sawit mengandung senyawa polisakarida, salah satunya adalah galaktomanan, yang tersusun dari unit galaktosa dan manosa. Penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi dan mengidentifikasi struktur galaktomanan dari bungkil sawit menggunakan spektroskopi FTIR dan NMR. Ekstraksi dilakukan melalui metode perebusan menggunakan air dengan perbandingan bahan terhadap pelarut 1:5 pada suhu 80°C selama 60 menit, dilanjutkan dengan presipitasi menggunakan etanol 96% dan pengeringan beku yang kemudian dilanjutkan dengan karakterisasi menggunakan FTIR dan NMR untuk mengonfirmasi keberadaan gugus fungsional khas galaktomanan. Hasil ekstraksi menunjukkan rendemen sebesar 0,77%. Spektrum FTIR menunjukkan pita kuat pada 1065,67; 1032,65; dan 1009,16 cm<sup>-1</sup>, yang mengindikasikan adanya regangan C–O dan C–O–C dari ikatan glikosidik, sebagai ciri utama struktur polisakarida galaktomanan. Spektrum <sup>1</sup>H-NMR memperlihatkan sinyal khas proton anomerik di rentang 5,0–5,4 ppm dan proton dari posisi C2–C6 di 3,2–4,1 ppm. Sementara itu, spektrum <sup>13</sup>C-NMR menunjukkan puncak karbon anomerik di sekitar 102–105 ppm dan puncak karbon cincin lainnya pada 60–85 ppm, yang konsisten dengan struktur galaktomanan. Hasil ini mengonfirmasi bahwa bungkil sawit berpotensi sebagai sumber galaktomanan untuk pengembangan biomaterial berbasis polisakarida.

### Key word:

Palm kernel meal;  
Galactomannan;  
FTIR;  
NMR

### ABSTRACT

Palm kernel meal contains polysaccharide compounds, including galactomannan, which is made up of galactose and mannose units. This study aims to extract and identify the structure of galactomannan from palm kernel meal using FTIR and NMR spectroscopy. Extraction was carried out using a hot water extraction method with a material-to-solvent ratio of 1:5 at 80°C for 60 minutes, followed by precipitation with 96% ethanol, subsequent freeze-drying, and followed by characterization through FTIR and NMR to confirm the presence of characteristic functional groups associated with galactomannan. The extraction yielded 0,77% then the FTIR spectrum revealed strong bands at 1065.67, 1032.65, and 1009.16 cm<sup>-1</sup>, indicating the presence of C–O and C–O–C stretching related to glycosidic bonds—key features of the galactomannan polysaccharide structure. The <sup>1</sup>H-NMR spectrum exhibited a distinct signal for the anomeric proton in the range of approximately 5.0–5.4 ppm, with the protons from the C2–C6 positions appearing between 3.2 and 4.1 ppm. Additionally, the <sup>13</sup>C-NMR spectrum displayed a peak for the anomeric carbon around 102–105 ppm, along with other ring carbon peaks in the range of 60–85 ppm, which align with the structure of galactomannan. These findings confirm that palm kernel meal holds promise as a source of galactomannan for developing polysaccharide-based biomaterials.

## Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan biodiversitas tanaman terbanyak di dunia (Myers et al., 2000). Keanekaragaman hayati ini memiliki potensi untuk dapat diolah menjadi produk bermanfaat, seperti bahan obat dan kosmetik (Siregar et al., 2020). Sawit merupakan salah satu tanaman potensial (Eknanda et al., 2024; Lestasi et al., 2019), yang banyak tersebar di wilayah barat dan tengah Indonesia seperti Sumatra dan Kalimantan (Khotimah & Nasruddin, 2022; Oktariani & Bakrie, 2025).

Minyak sawit bermanfaat sebagai sebagai bahan dasar pengolahan makanan, obat tradisional maupun kosmetik (Ekawati et al., 2022). Namun, proses pengolahannya menghasilkan limbah berupa bungkil (Alvarenga et al., 2020), yang umum diolah menjadi bahan kompos atau pakan hewan dan belum begitu banyak dikembangkan menjadi biomaterial potensial (Azizi et al., 2021).

Bungkil sawit sendiri memiliki kandungan polisakarida yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku obat maupun kosmetik seperti kolagen (Gil et al., 2024; Ihsan, 2025). Polisakarida yang terdapat pada bungkil sawit salah satunya adalah galaktosa dan manosa yang dikenal dengan nama lain yaitu galaktomanan (Barlina, 2015). Galaktomanan dapat dimodifikasi untuk dapat menyerupai seperti kolagen dalam konteks karakteristik fisiknya (Warma et al., 2024). Identifikasi keberadaan galaktomanan dalam bungkil sawit dapat menggunakan metode FTIR dan NMR (Ihsan, 2025).

FTIR sendiri merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis struktur molekul dengan mekanisme kerja yaitu berdasarkan serapan sinar inframerah oleh gugus-gugus fungsi tertentu dalam molekul. Ketika suatu senyawa dikenai radiasi inframerah, ikatan kimia di dalamnya akan bergetar pada frekuensi tertentu. Frekuensi serapan ini bergantung pada jenis gugus fungsional dan lingkungan kimianya (Stuart, 2005).

Sedangkan NMR merupakan metode yang dapat mendeteksi interaksi antara inti atom tertentu seperti ( $^1\text{H}$  dan  $^{13}\text{C}$ ) dengan medan magnet kuat dan radiasi radiofrekuensi. Inti atom dalam lingkungan kimia berbeda akan menghasilkan sinyal pada frekuensi berbeda yang sangat khas (chemical shift) (Claridge, 2016). Karakterisasi struktur galaktomanan dilakukan dengan menggunakan spektroskopi FTIR dan NMR, FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama dan perubahan kimia akibat modifikasi, sedangkan NMR ( $^1\text{H}$  dan  $^{13}\text{C}$ ) digunakan untuk mendeteksi susunan monomer, jenis ikatan glikosidik (Flores García et al., 2025; Lindi et al., 2024).

Oleh karena itu penelitian ini memiliki tujuan mengidentifikasi dan menganalisis galaktomanan dari bungkil sawit dengan metode FTIR dan NMR agar dapat dikembangkan sebagai alternatif kolagen nabati sebagai substitusi dari kolagen hewani.

## Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fakultas Industri Halal Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta dan LPPT UGM, Peralatan yang digunakan antara lain FTIR (Bruker®), NMR (Jeol®), beker glass (Pyrex®, Iwaki®), magnetic stirer (thermo scientific®), waterbath (Mettler®), overhead stirer (Biobase®), pH meter (PH-016®), *freeze dryer* (Biobase®), Sieve Shaker (Haver EML®) grinder (Getra®), kertas saring. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu bungkil sawit, aquadest (bratachem), etanol 96 % P.A.

### 1. Ekstraksi Galaktomanan Bungkil Sawit

Proses ekstraksi galaktomanan diawali dengan memperkecil ukuran partikel dari bungkil sawit dengan grinder. Hasil pengecilan partikel selanjutnya diayak dengan ayakan mesh 60 dan dilakukan ekstraksi dengan air. Sebanyak 300 gram bungkil sawit direndam dalam air dengan perbandingan 1:5 serta dilakukan pemanasan hingga mencapai suhu 80°C selama 60 menit disertai dengan pengadukan merupakan pengembangan metode dari penelitian sebelumnya (Ihsan, 2025). Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan cairan dengan padatan. Cairan yang diperoleh selanjutnya dilakukan presipitasi dengan etanol 96% P.A selama 24 jam (Cerqueira et al., 2009). Endapan yang terbentuk disaring dan dilakukan pengeringan dengan metode pengeringan beku menggunakan *freeze dryer*

selama 24 jam. Hasil endapan kering dilakukan pengecilan partikel dan dihitung rendemennya (Gómez-Rodríguez et al., 2024).

## 2. Uji FTIR

Sebanyak 5mg serbuk galaktomanan kering ditimbang dan diletakan pada kristal ATR. Selanjutnya dilakukan pengaturan dengan rentang spektrum 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  dilakukan proses scanning (Cerqueira et al., 2009).

## 3. Uji NMR

Sebanyak 300  $\mu\text{L}$  sampel galaktomanan dilarutkan dalam 1 mL pelarut  $\text{D}_2\text{O}$ , kemudian dicampur hingga homogen menggunakan vortex. Larutan sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung NMR. Pengujian dilakukan menggunakan spektroskopi  $^1\text{H}$ -NMR (proton) dan  $^{13}\text{C}$ -NMR (karbon). Pada uji  $^1\text{H}$ -NMR, pengukuran dilakukan dengan suppressed signal terhadap pelarut  $\text{D}_2\text{O}$ , untuk memastikan kejelasan sinyal proton dari sampel. Jumlah scan yang digunakan adalah sebanyak 64 kali. Sedangkan untuk uji  $^{13}\text{C}$ -NMR, dilakukan menggunakan 4096 scan untuk memperoleh spektrum karbon yang lebih tajam dan informatif. Pemilihan  $\text{D}_2\text{O}$  sebagai pelarut bertujuan untuk meminimalkan gangguan sinyal dari air, sehingga sinyal proton dan karbon dari struktur galaktomanan dapat terdeteksi secara optimal (Cerqueira et al., 2009)

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Hasil Ekstraksi Galaktomanan Bungkil Sawit

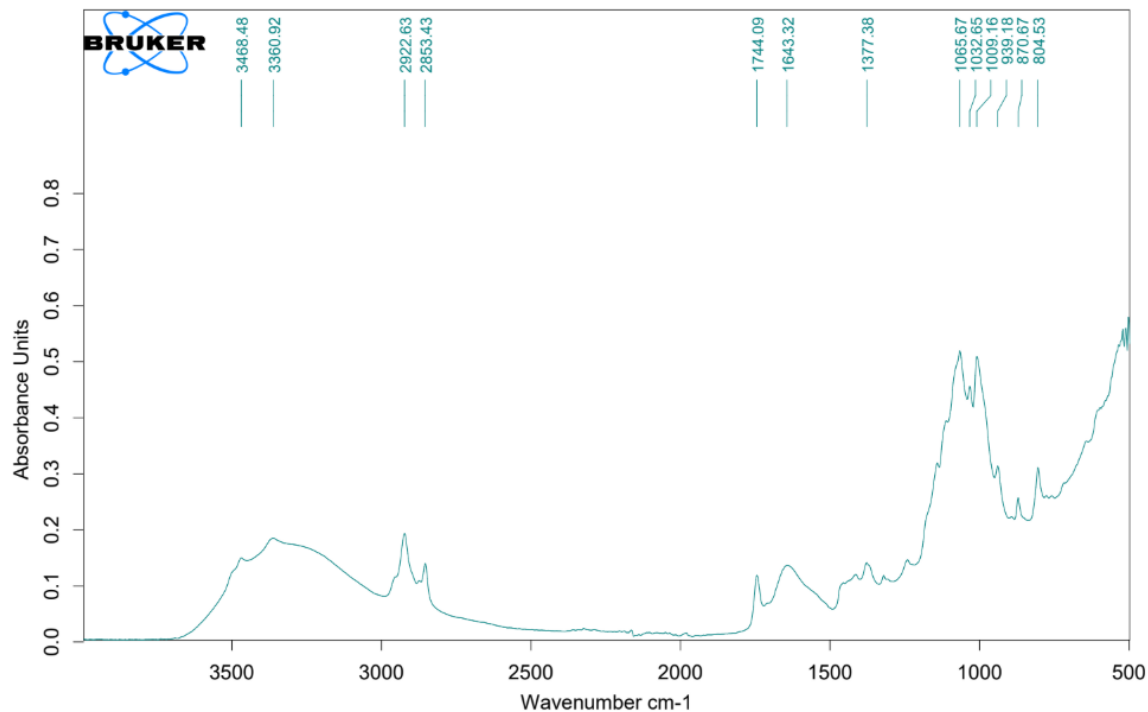
Proses ekstraksi galaktomanan dari bungkil sawit dilakukan dengan pengecilan partikel sebesar ayakan mesh 60 yang memiliki tujuan untuk dapat meningkatkan kontak partikel dengan medium larutannya (Cerqueira et al., 2009). Hasil proses ekstraksi galaktomanan diperoleh rendemen sebesar 0,77% yang tersaji pada tabel 1. Perolehan jumlah rendemen pada penelitian ini lebih besar dari pada penelitian sebelumnya yang dapat dipengaruhi karna perbedaan perbandingan konsentrasi pelarut serta suhu yang digunakan (Ihsan, 2025).

Tabel 1. Rendemen galaktomanan

Bobot Awal (g)	Rendemen (g)	Persen %
300	2,3	0,77

## 2. Hasil Uji FTIR

Gambar 1. Spektroskopi FTIR Galaktomanan bungkil sawit.



Tabel 2. Gugus fungsional galaktomanan bungkil sawit

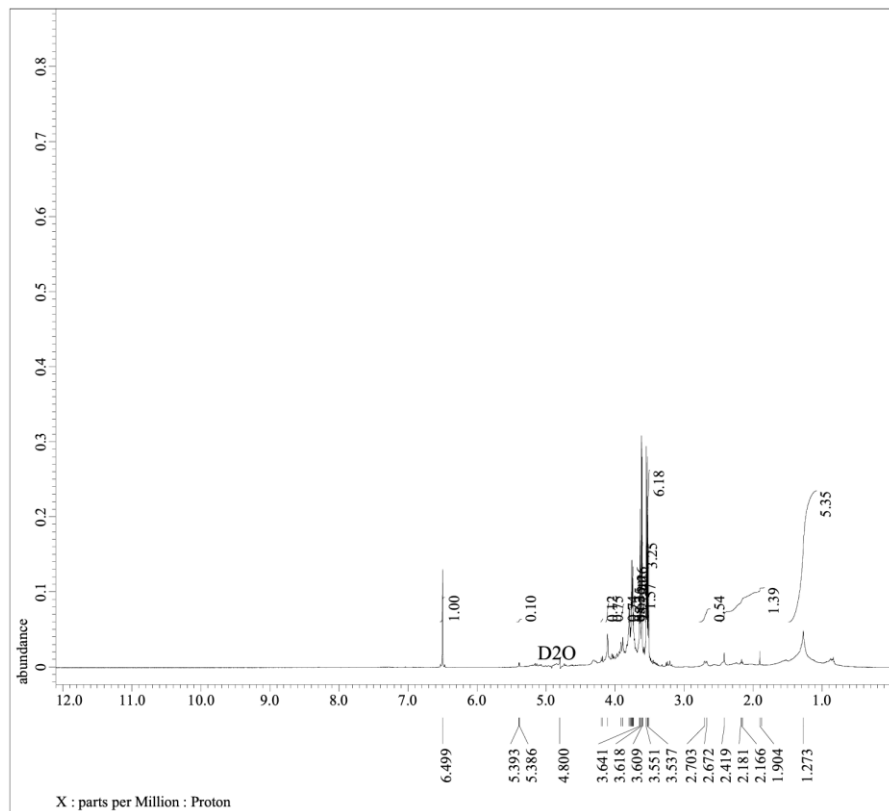
Jenis Vibrasi/Gugus Fungsional	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )
Regangan O-H (gugus hidroksil, polisakarida)	3460.92 ; 3468.48
Regangan C-H (gugus alifatik)	2922.63 ; 2853.43
Regangan C=O (gugus karbonil minor)	1744.09
Regangan H-O-H air terikat atau C=O minor	1643.32
Bending C-H (deformasi gugus metil/metilen)	1377.38
Regangan C-O dan C-O-C (ikatan glikosidik)	1065.67; 1032.65; 1009.16
Vibrasi β-glikosidik (β-pyranose)	939.18 ; 870.67 ; 804.53

Galaktomanan memiliki spektrum penciri pada FTIR, spektrum FTIR galaktomanan menunjukkan sejumlah pita serapan khas yang merepresentasikan gugus-gugus fungsi utama dari struktur polisakarida. Pola spektroskopi galaktomanan bungkil sawit pada penelitian ini terlihat pada gambar 1. Hasil analisis FTIR terhadap ekstrak galaktomanan dari bungkil sawit yang tersaji pada tabel 2 menunjukkan adanya pita serapan khas yang sesuai dengan karakteristik polisakarida. Pita lebar pada 3460.92 ; 3468.48 cm<sup>-1</sup> menunjukkan regangan O-H dari gugus hidroksil, serapan lebar yang muncul pada daerah sekitar 3200–3400 cm<sup>-1</sup> merupakan ciri vibrasi regangan O-H dari gugus hidroksil yang sangat dominan dalam struktur karbohidrat (Bouttier-Figueroa *et al*, 2017). Pola spektrum FTIR

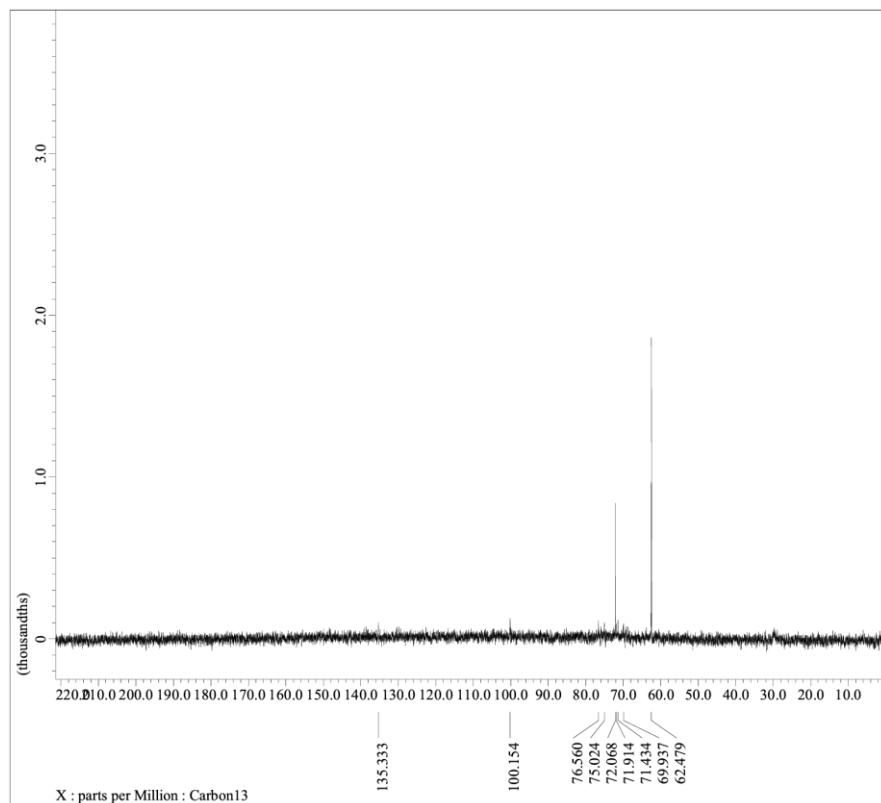
galaktomanan hasil ekstraksi bungkil sawit dalam penelitian ini juga menunjukkan kemiripan dengan spektrum galaktomanan dari berbagai sumber tanaman lain yang telah dilaporkan dalam literatur (Ihsan, 2025). Pita O–H yang muncul sesuai dengan hasil pada galaktomanan dari fenugreek dan carob, yang menunjukkan pita hidrosil kuat di kisaran 3300–3400  $\text{cm}^{-1}$  (Gómez-Rodríguez et al., 2024; Rashid et al., 2018). Selanjutnya pita pada 2922.63 ; 2853.43 $^{-1}$  mengindikasikan regangan C–H alifatik dari rantai galaktomanan yang sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana kisaran 2800–3000  $\text{cm}^{-1}$  dapat diindikasikan sebagai suatu molekul gula (Gómez-Rodríguez et al., 2024; Ihsan, 2025; Liyanage et al., 2015; Rashid et al., 2018). Salah satu ciri paling mencolok dari galaktomanan adalah pita intens pada daerah 1000–1200  $\text{cm}^{-1}$ , yang berasal dari regangan C–O–C dan C–O dalam ikatan glikosidik. Pita kuat yang muncul pada penelitian ini berada didaerah 1065,67; 1032,65; dan 1009,16  $\text{cm}^{-1}$ , pita ini berfungsi sebagai indikator utama keberadaan kerangka polisakarida galaktomanan (Dhull et al., 2020). Selain itu, pada wilayah sekitar 870–900  $\text{cm}^{-1}$  sering muncul sinyal yang dikaitkan dengan vibrasi ikatan glikosidik tipe  $\beta$  (Gómez-Rodríguez et al., 2024), pada penelitian ini dideteksi sinyal pada 939.18 ; 870.67 ; 804.53 $\text{cm}^{-1}$  meskipun jenis ikatan ini dapat bervariasi tergantung pada sumber galaktomanan dan konfigurasinya (Kačuráková et al., 2000). Tidak ditemukannya pita kuat pada sekitar 1700  $\text{cm}^{-1}$ , yang umumnya merupakan area regangan C=O dari gugus karbonil seperti keton atau asam karboksilat, mengindikasikan bahwa struktur utama galaktomanan tersebut belum mengalami modifikasi signifikan, dan masih mendominasi sebagai karbohidrat alami (Kanelli & Topakas, 2017). Puncak pada daerah sekitar 1740  $\text{cm}^{-1}$ , yang umumnya dihubungkan dengan gugus karbonil dari asetilasi, terdeteksi sangat lemah atau bahkan tidak muncul dominan, baik pada penelitian ini maupun pada penelitian sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa baik proses ekstraksi maupun modifikasi kimia belum menghasilkan perubahan struktur yang signifikan pada gugus karbonil (Ihsan, 2025). Namun, penelitian sebelumnya mencatat munculnya pita vibrasi N–H pada rentang 1250–1540  $\text{cm}^{-1}$  yang diinterpretasikan sebagai indikasi kontaminasi protein dalam ekstrak galaktomanan, terutama pada metode ekstraksi menggunakan air panas. Pada penelitian ini, pita tersebut tidak tampak dominan, yang dapat menunjukkan tingkat kemurnian ekstrak galaktomanan yang lebih tinggi atau perbedaan kondisi proses ekstraksi (Ihsan, 2025). Secara keseluruhan, kesesuaian pola spektrum FTIR antara penelitian ini dan literatur menunjukkan bahwa galaktomanan yang dihasilkan dari bungkil sawit memiliki karakteristik struktur yang serupa.

### 3. Hasil Uji NMR

Spektrum  $^1\text{H}$ -NMR dari galaktomanan hasil ekstraksi pada tersaji pada gambar 2 dan diinterpretasikan seperti pada tabel 3, spektrumnya menunjukkan profil khas polisakarida dengan puncak-puncak utama pada rentang 3.2–4.1 ppm, yang mewakili proton pada karbon C2 hingga C6 dalam cincin monosakarida galaktosa dan manosa. Puncak penting lainnya terletak pada 5.0–5.4 ppm, yang merupakan proton anomerik (H-1) dari ikatan glikosidik, menandakan bahwa struktur rantai galaktomanan teridentifikasi dengan baik. Pada penelitian lain yang mengambil galaktomanan dari tanaman *Dimorphandra gardneriana* dan *Prosopis velutina* menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian ini (Cunha et al., 2009; Gómez-Rodríguez et al., 2024). Sinyal dari pelarut  $\text{D}_2\text{O}$  di sekitar 4.7 ppm telah disuppress dengan baik, sehingga spektrum terlihat bersih dan fokus pada sinyal-sinyal dari sampel (Gómez-Rodríguez et al., 2024). Secara keseluruhan, spektrum ini mengindikasikan keberhasilan ekstraksi galaktomanan dari bungkil sawit dengan struktur glikosidik yang masih utuh.



Gambar 2. Spektrum <sup>1</sup>H-NMR <sup>13</sup>C-NMR Galaktomanan



Gambar 3. Spektrum <sup>13</sup>C-NMR Galaktomanan

Tabel 3. Interpretasi Spektrum <sup>1</sup>H-NMR Galaktomanan

Shift (ppm)	Jenis Proton	Struktur Molekul	Keterangan
5.0 – 5.4	H-1 (anomerik proton)	Glikosidik linkage (Manosa & Galaktosa)	Penanda unit sakarida, ciri khas struktur glikosidik
3.2 – 4.1	H-2 s/d H-6	Rantai utama galaktomanan (–CHOH–)	Proton pada karbon cincin monosakarida
4.7	Pelarut D <sub>2</sub> O (suppressed)	–	Puncak pelarut D <sub>2</sub> O, tidak terdeteksi karena sudah disuppress

Spektrum <sup>13</sup>C-NMR dari galaktomanan hasil ekstraksi bungkil sawit tersaji pada gambar 3 menunjukkan puncak-puncak yang khas dari struktur polisakarida. Interpretasi hasil yang tersaji pada tabel 4 menunjukkan puncak utama di sekitar 100 ppm menandakan keberadaan karbon anomerik (C1) dari residu galaktosa dan manosa, hasil ini serupa dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan tanaman *Delonix regia* (Tamaki et al., 2010). Selain itu, rentang 60–85 ppm menunjukkan karbon-karbon dari struktur cincin pyranosa, termasuk C2 hingga C6, yang merupakan bagian dari kerangka utama galaktomanan seperti yang disampaikan penelitian sebelumnya pada galaktomanan dari *Delonix regia* dan *lichens* (David et al., 2024; Tamaki et al., 2010).

Tabel 4. Identifikasi Puncak <sup>13</sup>C-NMR Galaktomanan

Shift (ppm)	Jenis Karbon	Posisi Karbon	Keterangan
102-105	Karbon anomerik	C-1	Penanda ikatan glikosidik antara unit galaktosa & manosa
70-85	Karbon sekunder	C-2 s.d. C-5	Karbon dalam cincin pyranosa galaktosa dan manosa
60-65	Karbon primer alkohol	C-6	CH <sup>2</sup> OH di luar cincin (ekstensi rantai polisakarida)

## Kesimpulan dan Saran

Hasil karakterisasi FTIR dan NMR mendukung identifikasi galaktomanan hasil ekstraksi dari bungkil sawit dengan rendemen 0,77%, sehingga limbah ini berpotensi dikembangkan sebagai sumber biomaterial berbasis polisakarida.

## Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terimakasih kepada DRTPM Kemendikstaintek yang telah memberikan hibah dana dalam Program Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat dengan skema PDP Tahun 2025. Terimakasih kepada Universitas Nahdatul Ulama Yogyakarta dan Tim PDP yang telah bekerja sama dan berkontribusi dalam penelitian ini.

Kami ucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdikstaintek), melalui Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat atas dukungan yang diberikan melalui Hibah Dosen Pemula (PDP), berdasarkan Keputusan Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Nomor 0419/C3/DT.05.00/2025 tanggal 22 Mei 2025 tentang Penerima Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2025. Terimakasih kepada Universitas Nahdatul Ulama Yogyakarta dan Tim PDP yang telah bekerja sama dan berkontribusi dalam penelitian ini.

## Daftar Pustaka

Alvarenga, G. L., Cuevas, M. S., Capellini, M. C., Crevellin, E. J., de Moraes, L. A. B., & Rodrigues, C. E. da C. (2020). Extraction of carotenoid-rich palm pressed fiber oil using mixtures of hydrocarbons and short chain alcohols. *Food Research International*, 128, 108810. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108810>

Azizi, M. N., Loh, T. C., Foo, H. L., & Teik Chung, E. L. (2021). Is Palm Kernel Cake a Suitable Alternative Feed Ingredient for Poultry? *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/ani11020338>

Barlina, R. (2015). Extraction of Galactomannan on the Coconut Meat, "Sapal", and Function for Food. *Perspektif*, 14(1), 37–50.

Bouttier-Figueroa D.C., Quevedo-López M.A., Rosas-Durazo A., Sotelo-Lerma M. Hydrothermal technique for isolation of galactomannan from seeds of Sonoran mesquite (*Prosopis* spp.) *Rev. Mex. Ing. Quim.* 2017;16:457–465.

Cerqueira, M. A., Pinheiro, A. C., Souza, B. W. S., Lima, Á. M. P., Ribeiro, C., Miranda, C., Teixeira, J. A., Moreira, R. A., Coimbra, M. A., Gonçalves, M. P., & Vicente, A. A. (2009). Extraction, purification and characterization of galactomannans from non-traditional sources. *Carbohydrate Polymers*, 75(3), 408–414. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.07.036>

Claridge, T. D. W. (2016). *NMR Techniques in Organic Chemistry*. 537.

Cunha, P. L. R., Vieira, Í. G. P., Arriaga, Â. M. C., de Paula, R. C. M., & Feitosa, J. P. A. (2009). Isolation and characterization of galactomannan from *Dimorphandra gardneriana* Tul. seeds as a potential guar gum substitute. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 880–885. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.05.005>

David, L. P., Ferron, S., Favreau, B., Yeni, O., Ollivier, S., Ropartz, D., Compagnon, I., Ferrières, V., Le Dévéhat, F., & Legentil, L. (2024). Synthesis of galactomannan fragments to help NMR assignment of polysaccharides extracted from lichens. *Organic and Biomolecular Chemistry*, 22(12), 2395–2403. <https://doi.org/10.1039/d4ob00047a>

Dhull, S. B., Sandhu, K. S., Punia, S., Kaur, M., Chawla, P., & Malik, A. (2020). Functional, thermal and rheological behavior of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) gums from different cultivars: A comparative study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 406–414.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.094>

Ekawati, R., Fattah, D. A., Paramitha, A., Abdillah, I., Fauziyah, M., & Wijayanti, P. (2022). Karakteristik kimia milkswit dan krimbrownswit: “inovasi produk olahan berbahan baku palm kernel oil.” *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(1), 113–122. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i1.12111>

Eknanda, M. F. K., Adisetya, E., Ulfah, M., Studi, P., Hasil, T., & Pertanian, F. T. (2024). *Potensi Red Palm Oil ( RPO ) dengan Kombinasi Cocoa Butter sebagai Bahan Pembuatan Body Butter untuk Perawatan Kulit Kering*. 2(September), 1522–1542.

Flores García, Y., Martín del Campo Solís, M. F., Gómez-Angulo, J. H., Martínez Preciado, A. H., Silva-Jara, J. M., Padilla de la Rosa, J. D., & Escalante-García, Z. Y. (2025). Industrial Applications, Principal Sources, and Extraction of Galactomannans: A Review. In *Foods* (Vol. 14, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/foods14091587>

Gil, M., Rudy, M., Duma-Kocan, P., Stanisławczyk, R., Krajewska, A., Dziki, D., & Hassoon, W. H. (2024). Sustainability of Alternatives to Animal Protein Sources, a Comprehensive Review. In *Sustainability* (Vol. 16, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/su16177701>

Gómez-Rodríguez, G. H., González-García, G., Álvarez-Bajo, O., García-Sifuentes, C. O., Argüelles-Monal, W. M., Lizardi-Mendoza, J., & López-Franco, Y. L. (2024). Enzyme-catalyzed transesterification of galactomannan extracted from mesquite seed (*Prosopis velutina*) with vinyl carboxylate esters. *Heliyon*, 10(10), e31421. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31421>

Ihsan, F. (2025). *Ekstraksi polisakarida manan dari bungkil inti sawit*. *Jurnal Teknologi Pangan* (Vol.13 No.2). <https://doi.org/10.32520/jtp.v13i2.3603>

Kačuráková, M., Capek, P., Sasinková, V., Wellner, N., & Ebringerová, A. (2000). FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, 43(2), 195–203. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00151-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X)

Kanelli, M., & Topakas, E. (2017). Acylation of soluble polysaccharides in a biphasic system catalyzed by a CE2 acetyl esterase. *Carbohydrate Polymers*, 163, 208–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.057>

Khotimah, S. K., & Nasruddin. (2022). Analisis Spasial Pola Persebaran Perkebunan Kelapa Sawit Di Indonesia Tahun 2015: Kelapa Sawit, Pola Spasial, Luas Areal, Indonesia, Peta Sebaran. *Jurnal Penelitian Multidisiplin*, 1(1), 69–72. <https://journal.pbnsurabaya.co.id/index.php/jupm/article/view/18>

Lestasi, I., Gusti, D. R., & Lestasi, U. (2019). Introduksi Teknologi Kosmetika Dengan Bahan Baku Arang Aktif Cangkang Sawit sebagai Perawatan Kecantikan di Paguyuban PT SNP Desa Parit, Sungai Gelam. *Jurnal Karya Abdi Masyarakat*, 3(1), 47–55. <https://doi.org/10.22437/jkam.v3i1.7009>

Lindi, A. M., Gorgani, L., Mohammadi, M., Hamed, S., Darzi, G. N., Cerruti, P., Fattahi, E., & Moeini, A. (2024). Fenugreek seed mucilage-based active edible films for extending fresh fruit shelf life: Antimicrobial and physicochemical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 269, 132186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132186>

Liyanage, S., Abidi, N., Auld, D., & Moussa, H. (2015). Chemical and physical characterization of galactomannan extracted from guar cultivars (*Cyamopsis tetragonolobus* L.). *Industrial Crops and Products*, 74, 388–396. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.013>

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Lessons from the past. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(February), 853–858.

[https://sdmmp.com/upload/SDMMP\\_Repository/0/038n1thz2kcdwfpqs7jy6mrvq4xb59.pdf](https://sdmmp.com/upload/SDMMP_Repository/0/038n1thz2kcdwfpqs7jy6mrvq4xb59.pdf)

Oktariani, G., & Bakrie, U. (2025). *Klasterisasi Pulau Penghasil Kelapa Sawit di Indonesia Berdasarkan Luas Areal, Produksi dan Tenaga Kerja Menggunakan Metode K-Means Clustering*. 9, 8735–8744.

Rashid, F., Hussain, S., & Ahmed, Z. (2018). Extraction purification and characterization of galactomannan from fenugreek for industrial utilization. *Carbohydrate Polymers*, 180, 88–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.025>

Siregar, R. S., Tanjung, A. F., Siregar, A. F., Bangun, I. H., & Mulya, M. O. (2020). *Studi Literatur Tentang Pemanfaatan Tanaman Obat Tradisional*. Scenario (Seminar of Social Sciences Engineering and Humaniora), [S.l.], p. 385-391, mar. 2021

Stuart, B. H. (2005). Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. In *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications* (Vol. 8). <https://doi.org/10.1002/0470011149>

Tamaki, Y., Teruya, T., & Tako, M. (2010). The chemical structure of galactomannan isolated from seeds of *Delonix regia*. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 74(5), 1110–1112. <https://doi.org/10.1271/bbb.90935>

Warma, S., Warma, H., Merja, A., Patel, N., & Patel, M. (2024). Revitalizing skin, hair, nails, and muscles: Unlocking beauty and wellness with vegan collagen. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 23(11), 3740–3756. <https://doi.org/10.1111/jocd.16443>