Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin dari Limbah Kulit Buah Mangga *(Mangifera Indica L.)* sebagai Material Berbasis Hidrogel

Irga Manta Sari Siregar *, Muhammad Reza
Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Ar- Raniry, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Indonesia
*Email: 220208026@student.ar-raniry.ac.id

DOI: https://doi.org/10.33369/pendipa.10.2.305-312

ABSTRACT

Mango peel (Mangifera Indica L.) is an abundant agro – industrial biomass waste that may cause environmental impacts such as water pollution, greenhouse gas emissions, air pollution, and soil degradation if not properly utilized. This waste contains polysaccharides, particularly pectin, which can be processed into porous materials such as hydrogels for use as adsorbents. The water – soluble nature of pectin makes it an environmentally friendly material that does not contribute to persistent solid waste. This study aimed to extract pectin from mango peel waste using an acid extraction method with 0.1 M citric acid solution as the solvent. The extraction resulted in a pectin yield of 10%. FTIR characterization confirmed the presence of characteristic functional groups of pectin, including the carbonyl (C=O) group at around 1735 cm^{-1} an the hydrogel (-OH) group at approximately 3347.94 cm^{-1} along with other polysaccharide functional groups. These characteristics indicate that the extracted pectin has as hydrogel, which can be applied as adsorbents for water pollutants.

Keywords: *Extraction; Pectin; Mango Peel; Hydrogel.*

.

ABSTRAK

Kulit Mangga (Mangifera Indica L.) merupakan limbah biomassa agroindustri yang melimpah dan dapat menyebabkan dampak lingkungan seperti pencemaran air, emisi gas rumah kaca, pencemaran udara, dan degredasi tanah jika tidak dimanfaatkan dengan benar. Limbah ini mengandung polisakarida, khususnya pektin, yang dapat diolah menjadi material berpori seperti hidrogel untuk digunakan sebagai adsorben. Sifat pektin yang larut dalam air menjadikannya material ramah lingkungan yang tidak berkontribusi terhadap limbah padat yang persisten. Penelitian ini bertujuan untuk mengekstrak pektin dari limbah kulit mangga menggunakan metode ekstraksi asam dengan larutan asam sitrat 0,1 M sebagai pelarut. Ekstraksi menghasilkan rendemen pektin sebesar 10%. Karakterisasi FTIR mengkonfirmasi keberadaan gugus fungsional karakterisastik pektin, termasuk gugus karbonil (C=O) pada sekitar 1735 cm^{-1} dan gugus hidrogel (-OH) pada sekitar 3347,94 cm^{-1} bersama dengan gugus fungsional polisakarida lainnya.karakterisasi ini menunjukkan bahwa pektin yang diekstrak memiliki sifat hidrogel, yang dapat diaplikasikan sebagai adsorben untuk polutan air,

Kata kunci: Ekstraksi; Pektin; Kulit Mangga; Hidrogel.

PENDAHULUAN

Mangga (Mangifera Indica L.) adalah salah satu buah hortikultura tropis yang memiliki produksi dan konsumsi tinggi. Proses pengolahan mangga menjadi berbagai produk yang menghasilkan limbah padat dengan jumlah yang cukup besar, tetapi hingga sekarang penggunaannya masih sangat terbatas (Ajila et al., 2010). Seiring dengan tingginya produksi mangga di dunia yang mencapai jutaan ton setiap tahunnya, sehingga akumulasi limbah ini dapat menimbulkan permasalahan lingkungan seperti efek rumah kaca apabila tidak dikelola secara tepat (Ribeiro et al., 2021). Pada umumnya,

limbah kulit buah mangga masih dibuang tanpa proses pemanfaatan yang optimal, meskipun diketahui mengandung berbagai komponen bernilai tinggi, seperti pektin, serat, serta senyawa fenolik yang berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut (Raji et al., 2017) (Ahmed & al., 2020).

Pektin berperan sebagai pengental dan pembentuk gel, dan digunakan di berbagai sektor industri, seperti makanan, kosmetik dan farmasi Sampai saat ini, kulit buah jeruk dan apel merupakan sumber utama komersial pektin, tetapi buah tropis seperti mangga memiliki peluang untuk menghasilkan material pektin (Sharma et al., 2022).

Kulit buah mangga memiliki kandungan pektin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beberapa limbah buah lainnya(Razali, 2022). Limbah buah untuk pembuatan pektin mendukung prinsip ekonomi sirkular, mengurangi limbah organik, serta menambah nilai bagi industri pengolahan. Setiap jenis limbah buah memiliki karakteristik yang berbeda, baik dalam hal kadar derajat esterifikasi, maupun monosakarida, yang mempengaruhi sifat fungsional dan aplikasinya. Pektin yang dihasilkan dari buah naga, markisa, dan jeruk menunjukkan variasi dalam kadar dan sifat fisikokimianya, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan industri tertentu (Dao et al., 2021).

Kandungan polisakarida yang melimpah, seperti pektin dan hemiselulosa, menjadikan kulit mangga berpotensi sebagai prekursor material berpori tanpa memerlukan penggunaan bahan sintetis berbiaya tinggi, sehingga dapat menekan biaya produksi sekaligus mengurangi dampak terhadap lingkungan (Chandel et al., 2022). Keberadaan gugus hidroksil dan karboksilat pada struktur pektin memungkinkan terjadinya pembentukan ikatan silang sehingga dapat dikembangkan menjadi hidrogel, yaitu material hidrofilik berstruktur jaringan tiga dimensi yang mampu menyerap dan menahan air dalam jumlah besar tanpa mengalami pelarutan (Thakur et al., 1997).

Hidrogel ini lebih unggul dibanding material berpori lain seperti aerogel dan xerogel, karena proses pembentukannya lebih efisien energi dan tidak memerlukan pengeringan ekstrem. Dibanding karbon aktif yang sering dihasilkan dari biomassa limbah namun tidak larut dalam air sehingga menjadi limbah setelah digunakan. .Hidrogel pektin bersifat biodegradable, biokompatibel, dan mudah terdispersi, sehingga lebih ramah lingkungan (Mufida et al., 2021). Struktur porinya memfasilitasi difusi molekul efektif dan luas permukaan aktif untuk interaksi sehingga berpotensi sebagai material fungsional dan adsorben ramah lingkungan (Dragan, 2014). Pektin dapat diperoleh dari hasil ekstraksi yang menggunakan berbagai cara, mulai dari teknik tradisional dengan ekstraksi asam, hingga teknik modern (*microwave, ultrasound* dan *enzim*). Metode tradisional biasanya melibatkan asam kuat seperti HCl atau H_2SO_4 dan membutuhkan waktu pemanasan selama 1-4 jam, sehingga dapat merusak struktur pektin dan kurang ramah lingkungan (Fishman et al., 2008).

Beberapa penelitian terdahulu melaporkan keberhasilan ekstraksi pektin dari limbah kulit buah dengan rendemen yang bervariasi bergantung pada jenis bahan baku dan kondisi proses. Penelitian melaporkan rendemen pektin dari kulit buah jeruk sebesar 21,3% menggunakan pelarut asam sitrat (1-5% b/v) pada suhu 80 °C selama 90 menit (Putri et al., 2021), sedangkan rendemen pektin dari kulit apel dan semangka masing-masing sebesar 18,6% dan 24,1% pada suhu 85 °C menggunakan asam asetat (1,8 %b/v) (W. Wang et al., 2021). Ekstraksi pektin dari kulit pisang kepok menghasilkan rendemen 14,8% menggunakan asam klorida (0,36 % b/v) pada suhu 90 °C selama 60 menit (Alamsyah et al., 2020), rendemen dari kulit nangka menggunakan asam sitrat (1-5% b/v) sebesar 16,5% (Putri et al., 2021). Asam mineral meningkatkan rendemen tetapi menurunkan kualitas pektin, sedangkan asam organik lebih stabil dan ramah lingkungan (Yapo & Koffi, 2008). Suhu dan waktu ekstraksi optimum meningkatkan pelepasan pektin, namun suhu 90 °C atau waktu berlebih menyebabkan degradasi (Y. Chen et al., 2021) (Sila et al., 2009). Oleh karena itu, ekstraksi dan karakterisasi pektin dari kulit buah mangga (*Mangifera Indica L*) penting untuk menghasilkan pektin berkualitas sebagai basis hidrogel ramah lingkungan.

Pektin yang dihasilkan harus terkarakterisasi pada tingkat molekuler dan mikroskopik agar dapat memahami kualitasnya, serta potensinya untuk digunakan dalam aplikasi

yang berbeda. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) sering dipakai untuk mengenali gugus fungsi kimia pada pektin. Ditinjau dari hasil kualitas pektin komersial, tidak hanya dalam aspek struktur kimia tetapi juga dalam fungsionalitasnya (Iqbal et al., 2009).

Penelitian ini mengenai pektin dari kulit buah mangga juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan material baru yang berbasis biomassa lokal dan berkelanjutan. Hidrogel pektin yang dihasilkan dari kulit buah mangga bukan hanya menawarkan aplikasi proses yang terintegrasi, tetapi peluang untuk aplikasi – aplikasi lainnya (De Brito, E., De Souza Filho, M., De Azeredo, H., & Ricardo, 2021).

Studi tentang pemanfaatan limbah kulit buah mangga menjadi pektin memiliki harapan dan tujuan yang jelas dari sisi lingkungan, ekonomi dan teknologi. Oleh karena itu, identifikasi gugus fungsi pada pektin limbah kulit buah mangga melalui FTIR sangat penting untuk mendukung inovasi material berbasis sumber daya lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pektin yang diekstraksi dari kulit buah mangga. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah atau menjadi acuan untuk mengembangkan aplikasi pektin kulit buah mangga sebagai sumber pektin alternatif yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini di laksanaka pada bulan Mei - Juni tahun 2025 dilaboratorium pendidikan kimia Fakultas Tarbiyah dan Keguruan (FTK), serta di laboratorium kimia Fakultas Sains dan Teknologi (SAINTEK) Uin Ar Raniry Banda Aceh.

Bahan dan Alat

Asam Sitrat (Merck, *analytical grade*, 99%) digunakan sebagai pelarut asam untuk melarutkan pektin dari matriks kulit buah. Natrium Hidroksida (*sigma-adrich, reagent grade* 97%) berfungsi sebagai pengatur pH untuk menetralkan larutan ekstrak. Etanol (Merck 99%) digunakan sebagai agen pengendap pektin, sedangkan Minyak nabati adalah sebagai agen antifoaming selama proses ekstraksi. Akuades murni digunakan sebagai pelarut dan media pencucian. Konsentrasi larutan yang digunakan pada bahan yaitu asam sitrat pH 2 , NaOH 1 M, Etanol 96% (v/v), dan minyak 10% v/v. Limbah kulit buah mangga digunakan tanpa adanya konsentrasi khusus, namun dikeringkan hingga <5% untuk menghindari degradasi.

Preparasi Sampel

Kulit buah mangga diperoleh dari beberapa pedagang jus di daerah Darussalam, Banda Aceh, Indonesia (05°36' 16" Lu dan 69° 22' 35" BT**.** Sampel dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran dan kontamin yang menempel. Setelah itu, sampel dikering anginkan selama satu malam (± 12 jam). Sebelum proses pengeringan menggunakan oven, sampel kulit buah mangga (awal) terlebih dahulu ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengetahui massa awal bahan. Berat awal sampel basah yang diperoleh adalah sebesar 650 g. Selanjutnya sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 70 – 80 °C dalam waktu 18 jam. Setelah dilakukan pengeringan hingga mencapai massa konstan, berat sampel berkurang menjadi 350 g. Kulit mangga yang sudah kering dihaluskan menggunakan blender hingga diperoleh serbuk homogen sebagai bahan baku ekstraksi.

Ekstraksi Pektin

Serbuk kulit buah mangga sebanyak 100 g diekstraksi menggunakan larutan asam sitrat pH 2 (1 : 2) dengan media *hot plate stirrer* dan minyak nabati sebagai penghantar panas pada rentang suhu 70 – 80 °C selama 45 menit. Setelah proses ekstraksi selesai, campuran dipisahkan melalui penyaringan untuk memperoleh filtrat yang mengandung pektin terlarut (Adi Sulianto et al., 2024). Nilai pH filtrat selanjutnya dinetralkan menggunakan akuades, untuk lebih memudahkan ditambahkan larutan Natrium Hidroksida 0,1 M. Proses pengendapan pektin dilakukan dengan menambahkan etanol ke dalam filtrat dengan perbandingan volume 1 : 2 (filtrat : Etanol) dan didiamkan selama kurang lebih 4 jam hingga terbentuk endapan. Endapan pektin yang dihasilkan kemudian dipisahkan melalui penyaringan dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 18 jam hingga diperoleh pektin kering dengan massa 10 g.

Rendemen

Setelah proses ekstraksi dan pengeringan pektin selesai, dilakukan perhitungan rendemen

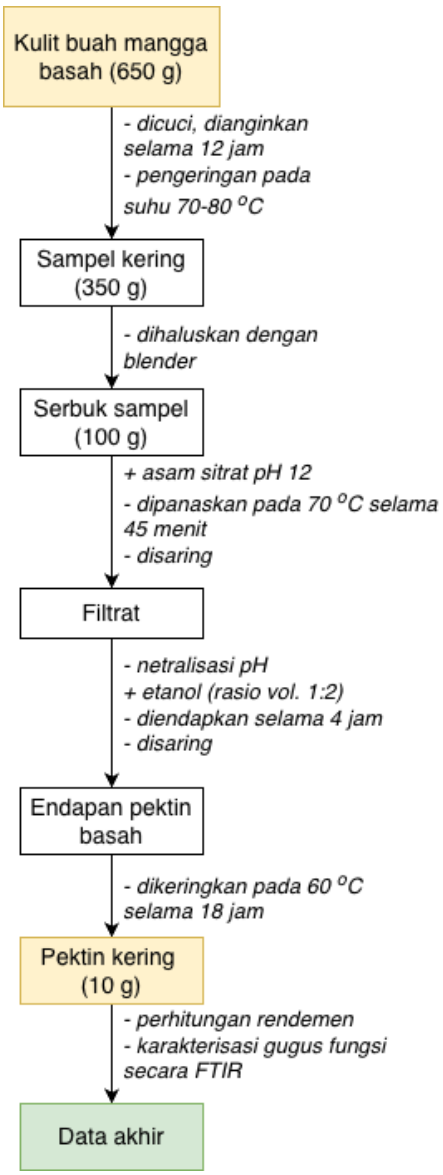
untuk mengetahui presentasi hasil pektin yang diperoleh. Rendemen (%R) dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Rendemen} = \frac{m_p}{m_b} x\ 100\ \%$$

Keterangan :

m_p = massa bahan baku pektin kering yang diekstraksi (g)

m_b = massa produk pektin kering setelah diekstraksi (g).

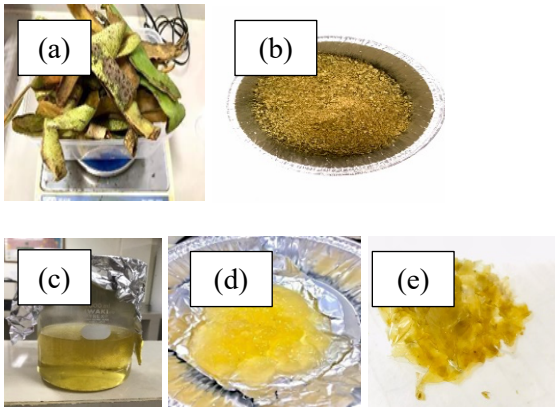


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Karakterisasi Pektin dengan FTIR

Pengukuran spektrum IR dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi (SAINTEK) UIN Ar – Raniry menggunakan instrumen Spectrum Two FTIR Spectrometer (LiTaO3 Detector) with UATR Accessories. Sampel pektin kering terlebih dahulu dihaluskan hingga ukuran partikel relatif seragam dan ditempatkan di tempat sampel pada Attenuated Total Reflectance (ATR) sampling aksesoris pengukuran instrumen sebelum dianalisis. Spektrum direkam pada rentang bilangan gelombang 4000 – 400 cm^{-1}. Data spektrum yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara kualitatif dengan mengamati posisi dan intensitas serapan karakteristik, kemudian dibandingkan dengan data referensi dan literatur untuk memastikan keberadaan gugus fungsi khas pektin.

Alur kerja penelitian dari tahap preparasi hingga karakterisasi diringkas dalam diagram alir yang disajikan pada Gambar 1. Dan tahapan penelitian mulai dari persiapan bahan, proses ekstraksi, hingga diperolehnya pektin kering disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Ekstraksi Pektin; (a) sampel basah; (b) sampel kering; (c) filtrat; (d) pektin basah; (e) pektin kering

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Pektin

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses ekstraksi pektin dari kulit buah mangga (Mangifera Indica L) menghasilkan rendemen pektin sebesar 10%. Nilai rendemen diperoleh dari 100 g sampel serbuk kulit mangga kering

yang diekstraksi menggunakan larutan asam sitrat (pH 2) dengan rentang suhu 70 – 80°C selama 45 menit.

Sebagai pembanding terhadap rendemen pektin yang diperoleh, hasil penelitian ini dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu pada berbagai jenis limbah kulit buah, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1.

Berdasarkan tabel 1, penelitian ini terlihat bahwa rendemen pektin yang dilaporkan pada berbagai penelitian terdahulu menunjukkan variasi yang cukup signifikan dari 26 – 21 %. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, anatara lain jenis bahan baku, jenis dan konsentrasi pelarut asam, serta kondisi proses ekstraksi seperti suhu dan waktu.

Kulit buah mangga diketahui memiliki kandungan pektin yang relatif tinggi, namun penggunaan asam sitrat sebagai pelarut yang lebih ramah lingkungan dibandingkan asam mineral kuat, memiliki sifat ekstraksi yang lebih bagus. Hal ini berpotensi menghasilkan nilai rendemen yang relatif rendah, tetapi dapat menjaga stabilitas struktur pektin serta meminimalkan degradasi rantai polimer.

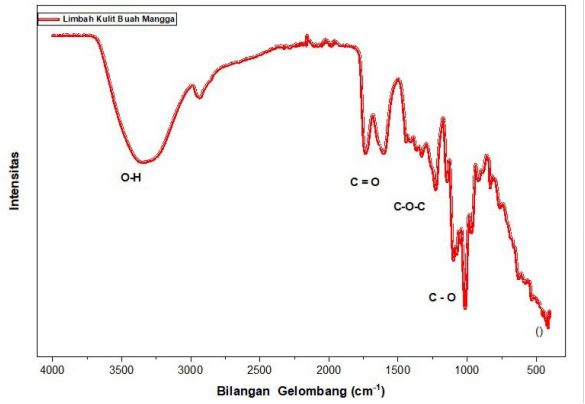
Table 1. Perbandingan rendemen ekstraksi pektin dari beberapa limbah kulit buah

Bahan Baku (kulit)	Pelarut (%)	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	%R	Ref.
Jeruk	Asam asetat	80	90	21,3	(Putri et al., 2021)
Apel	Asam asetat	85	180	28,6	(W. Wang et al., 2021)
Semangka	Asam asetat	85	180	24,1	Chen et.,al (2021)
Pisang Kepok	Asam klorida	90	240	14,8	(Alamsyah et al., 2020)
Nangka	Asam sitrat	70	60	16,5	(Putri et al., 2021)

Penggunaan asam sitrat sebagai pelarut dengan metode tradisional dalam penelitian ini dipilih untuk menjaga stabilitas dan kualitas pektin yang dihasilkan, sehingga hasil pektin yang diperoleh masih relevan untuk pengembangan lebih lanjut, khususnya sebagai bahan dasar pembuatan hidrogel.

Karakterisasi Pektin

Berdasarkan spektrum yang diperoleh, karakterisasi struktur kimia pektin yang dianalisis melalui identifikasi FTIR, ditunjukkan pada (gambar 2). Analisis spektrum ini bertujuan untuk mengonfirmasi keberadaan gugus khas pektin serta mengevaluasi peranannya dalam pembentukan hidrogel.



Gambar 3. Pita FTIR Pektin Kulit Mangga

Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa pita serapan pada bilangan gelombang 3347,94 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil (-OH) dalam struktur pektin. Gugus (-OH) tersebut berkaitan dengan unit asam galakturonat sebagai penyusun utama rantai polisakarida pektin. Gugus (-OH) berkontribusi terhadap sifat hidrofilik pektin serta memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen, baik antarmolekul maupun dengan air, yang selanjutnya memengaruhi sifat fungsional pektin, seperti kemampuan pembentukan gel dan interaksi dengan senyawa lain (A. Kumar & Chauhan, 2018).

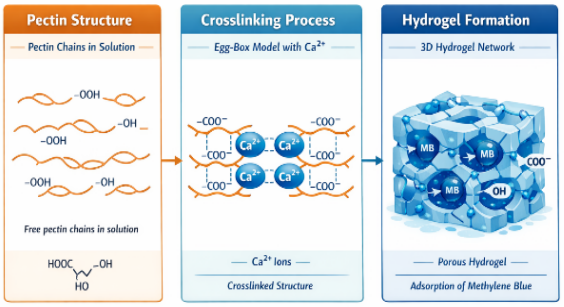
Pita serapan pada bilangan gelombang 1735,07 cm^{-1} dan 1603,24 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus karbonil (C=O) dalam struktur pektin. Serapan pada wilayah tersebut umumnya dikaitkan dengan gugus ester metil ($-COOCH_3$) serta gugus karboksilat bebas ($-COO^-$) yang terdapat pada unit asam galakturonat. Gugus karbonil ini menyebabkan pektin bersifat polar dan hidrofilik, sehingga mampu berinteraksi dengan molekul polar melalui ikatan hidrogen. Selain itu, gugus inni berperan sebagai situs aktif yang menetukan reaktivitas kimia pektin, dan dapat memengaruhi karakterisasi fungsionalnya (Hosseini et al., 2019).

Pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang 1226,50 cm^{-1}, sampai 1097,61 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus eter (C-O-C) dalam struktur pektin. Serapan pada daerah ini umumnya dikaitkan dengan ikatan glikosidik yang menghubungkan unit - unit monosakarida penyusun rantai polisakarida pektin. Gugus C-O-C tersebut berperan dalam mempertahankan integritas rangka molekul, sehingga berkontribusi terhadap kekakuan dan kestabilan struktur pektin secara keseluruhan (L. Zhang et al., 2020). Selanjutnya, pita serapan pada bilangan gelombang 1049,13 cm^{-1} dan 967,14 cm^{-1} menunjukkan keberadaan ikatan (C-O) dikaitkan dengan vibrasi ikatan (C-O) yang terdapat pada rangka polisakarida pektin. Keberadaan ikatan tersebut mencerminkan karakteristik struktural pektin dan berperan dalam menentukan sifat fisikokimia, khususnya afinitas terhadap air serta kemampuan pektin dalam membentuk jaringan gel (W. Wang et al., 2017).

Pita serapan pada bilangan gelombang rendah, yaitu 413,57 cm^{-1} termasuk dalam wilayah sidik jari (*fingerprint region)* ini berkaitan dengan vibrasi dari struktur makromolekul pektin secara keseluruhan. Serapan pada wilayah ini memberikan informasi tambahan mengenai kompleksitas serta susunan kerangka polisakarida pektin (W. Wang et al., 2021)

Dalam aplikasi sebagai adsorben, hidrogel berbasis pektin berpotensi mengadsorpsi zat warna kationik seperti metilen biru. Gugus karboksilat ($-COO^-$) pada pektin dapat berinteraksi secara elektrostatik dengan muatan positif dari molekul zat warna. Selain itu gugus -OH dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus polar pada molekul adsorbat. Kombinasi interaksi elektrostatik, ikatan hidrogen, dan gaya Van Der Waals berkontribusi terhadap terhadap peningkatan kapasitas adsorpsi hidrogel berbasis pektin(L. Wang & Wang, 2016).

Meskipun rendemen yang diperoleh relatif tidak tinggi, hasil karakterasasi gugus fungsi tetap menunjukkan bahwa pektin tersebut berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan dasar hidrogel. Hal ini dibuktikan melalui karakterisasi gugus fungsi yang mendukung pembentukan jaringan polimer, seperti gugus hidroksil (-OH) dan karboksilat (-COO-) yang berperan dalam pembentukan ikatan silang (V. Kumar & Sharma, 2022).



Gambar 4. Ilustrasi Adsorpsi

Pektin hasil ekstraksi dari kulit mangga memiliki gugus aktif -OH dan -COOH selanjutnya bisa dikembangkan menjadi hidrogel melalui proses pengikatan silang *(crosslingking)*. Secara struktural, pektin tersusun atas rantai polisakarida yang kaya akan unit asam galakturonat. Ketika dilakukan proses *crosslingking,* gugus karboksilar ($-COO^-$) pada rantai pektin akan berinteraksi dengan agen pengikat silang (misalnya ion Ca^{2+}), membentuk struktur jaringan tiga dimensi (3D *network*) seperti pada gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan skema transformasi pektin dari bentuk rantai bebas dalam larutan menjadi struktur hidrogel tiga dimensi yang berfungsi sebagai adsorben zat warna metilen biru, dimana pada tahap awal, pektin berada dalam bentuk rantai polisakarida linear dengan gugus aktif -COOH dan -OH yang hidrofilik dan reaktif terhadap ion multivalen, kemudian melalui proses crosslingking dengan ion Ca^{2+} membentuk modelegg-box yang menghubungkan antar rantai menjadi matriks tiga dimensi stabil dan berpori (Axelos & Thibault, 1991) (Liu et al., 2022). Struktur ini memungkinkan hidrogel berinteraksi dengan molekul metilen biru (MB^+) melalui difusi kedalam pori dan interaksi elektrostatik anatar gugus $-COO^-$ bermuatan negatif dengan zat warna kationik, serta pembentukan ikatan hidrogen melalui gugus -OH, meningkatkan efesiensi adsorpsi dibandingkan pektin non-croslinked (Q. Zhang et al., 2023). Dalam mekanisme yang lebih rinci, ion Ca^{2+} sebagai penghubung mempertahankan ketersediaan situs aktif, memfasilitasi difusi MB^+ ke dalam jaringan berpori, dan menyebabkan molekul zat warna

terperangkap melalui kombinasi interaksi ini, dengan luas permukaan yang diperluas mendukung aplikasi dalam pemurnian air limbah (L. Chen et al., 2023).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstraksi pektin dari kulit buah mangga *(Mangifera indica L)* dengan pelarut asam sitrat menghasilkan rendemen sebesar 10%. Rendemen tersebut relatif rendah dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya, namun masih dalam kisaran yang sebanding. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan jenis bahan baku, suhu, waktu, pH, serta pelarut yang digunakan. Meskipun demikian, karakterisasi FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi utama pektin, seperti gugus hidroksil, karbonil, karboksilat, yang menandakan bahwa struktur pektin tetap terjaga. Oleh karena itu, pektin hasil ekstraksi memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan dasar hidrogel, khususnya dalam aplikasi sebagai adsorben zat warna

DAFTAR PUSTAKA

Adi Sulianto, A., Adiyaksa, I. P., Wibisono, Y., Khan, E., Ivanov, A., Drannikov, A., Ozaltin, K., & Di Martino, A. (2024). From Fruit Waste to Hydrogels for Agricultural Applications. *Clean Technologies*, *6*(1), 1–17.https://doi.org/10.3390/cleantechnol6010001

Ahmed, I., & al., et. (2020). Extraction and characterization of pectin from mango peel. *Food Hydrocolloids*, *108*, 105–112. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106123

Ajila, C. M., Aalami, M., Leelavathi, K., & Rao, U. J. S. P. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *11*(1), 219–224.

Alamsyah, A., Sari, P., L., Nisa, & K. (2020). Pembuatan hidrogel dari kulit pisang sebagai adsorben rhodamin B. *Jurnal Kimia Dan Lingkungan*, *14*(1), 34–41–34–41.

Axelos, M. A. V, & Thibault, J. F. (1991). The chemistry of low-methoxyl pectin gelation. *Carbohydrate Polymers*, *15*(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/0144-8617(91)90001-5

Chandel, V., Biswas, D., Roy, S., Vaidya, D., Verma, A., Gupta, & A. (2022). Current Advancements in Pectin: Extraction, Properties and Multifunctional Applications. *Foods*, *11*. https://doi.org/10.3390/foods11172683

Chen, L., Liu, Y., & Wang, X. (2023). Adsorption of methylene blue onto calcium pectin hydrogels: Mechanism and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, *456*, 132456. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132456

Chen, Y., Zhang, H., & Sun, Y. (2021). Extraction and characterization of pectin from watermelon rinds and apple pomaces. *Food Chemistry*, *340*, 127930. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127930

Dao, T., Webb, H., Malherbe, & F. (2021). Optimization of pectin extraction from fruit peels by response surface method: Conventional versus microwave-assisted heating. *Food Hydrocolloids*, *113*. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106475

De Brito, E., De Souza Filho, M., De Azeredo, H., & Ricardo, N. (2021). *From mango by-product to food packaging: Pectin-phenolic antioxidant films from mango peels*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.131.

Dragan, E. S. (2014). Design and applications of interpenetrating polymer network hydrogels. A review. *Chemical Engineering Journal*, *243*, 572–590. https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.01.022

Fishman, M. L., Chau, H. K., Hoagland, P., & Ayyad, K. (2008). Characterization of pectin, flash-extracted from orange albedo by microwave heating, under pressure. *Carbohydrate Research*, *343*(6), 946–955. https://doi.org/10.1016/j.carres.2008.01.027

Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S. (2019). Optimization of microwave-assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, *229*, 115511. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115511

Iqbal, M., Saeed, A., Zafar, & S. (2009). FTIR spectrophotometry, kinetics and adsorption isotherms modeling, ion exchange, and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd(2+) and Pb(2+) removal by mango peel waste. *Journal of Hazardous Materials*, *164*(1), 161–171. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.141

Kumar, A., & Chauhan, G. S. (2018). Extraction and characterization of pectin from citrus fruits: A review. *Carbohydrate Polymers*, *174*, 1069–1082. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.032

Kumar, V., & Sharma, A. (2022). Pectin extraction from fruit wastes and its application in hydrogel formation for environmental remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *10*(1), 107123. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107123

Liu, Y., Wang, X., & Chen, L. (2022). Nanoparticle-reinforced pectin hydrogels for biomedical applications. *Food Hydrocolloids*, *123*, 107845. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107845

Mufida, N., Nuraini, N., Salim, & M. (2021). Sintesis dan aplikasi hidrogel berbasis biopolimer. *Indonesian Journal of Green Chemistry*, *4*(2), 78–85–78–85.

Putri, D., A., Widodo, & D. (2021). Pemanfaatan kulit jeruk sebagai adsorben alami untuk menurunkan konsentrasi metilen biru. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, *14*(2), 156–164–156–164.

Raji, Z., Khodaiyan, F., Rezaei, K., & Kiani, H. (2017). Extraction optimization and characterization of pectin from mango peel. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(2), 374–383.

Razali, N. S. R. (2022). *Penggunaan kulit dan biji mangga sebagai karbon aktif untuk adsorpsi metilen biru*.

Ribeiro, A., Cunha, A., Silva, D., L., Mattos, A., Brito, D., E., Filho, D. S., M., Azeredo, D., H., Ricardo, & N. (2021). From mango by-product to food packaging: Pectin-phenolic antioxidant films from mango peels. *International Journal of Biological Macromolecules*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.131

Sharma, P., Vishvakarma, R., Gautam, K., Vimal, A., Gaur, V., Farooqui, A., Varjani, S., Younis, & K. (2022). Valorization of citruspeel waste for the sustainable production of value-added products. *Bioresource Technology*. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127064

Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Pectins in processed fruits and vegetables: Part II—Structure–function relationships. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *8*(2), 86–104. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00070.x

Thakur, B. R., Singh, R. K., & Handa, A. K. (1997). Chemistry and uses of pectin. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *37*(1), 47–73.

Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., & Na, G. (2021). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic organisms: A review. Chemosphere, 263, 128228. (n.d.).

Wang, L., & Wang, A. (2016). Adsorption properties of pectin-based hydrogels for cationic dyes. *Carbohydrate Polymers*, *151*, 1065–1073. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.060

Wang, W., Ma, X., Jiang, P., Hu, L., Zhi, Z., Chen, J., & Ding, T. (2017). Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions. *Food Chemistry*, *224*, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.073

Wang, W., Wang, A., & Chen, L. (2021). Sustainable hydrogels based on agricultural waste for water purification: A review. *Carbohydrate Polymers*, *256*, 117590.

Yapo, B. M., & Koffi, K. L. (2008). Extraction and characterization of pectin substances from yellow passion fruit (Passiflora edulis f. flavicarpa) rind. *Food Research International*, *41*(7), 709–713. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.05.006

Zhang, L., Xu, M., Dong, Y., & Wang, L. (2020). Structural characterization of pectin extracted from citrus peel using ultrasound-assisted method. *Food Hydrocolloids*, *100*, 105420. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105420

Zhang, Q., Li, H., & Xu, Y. (2023). Computational modeling of pectin hydrogel dynamics for drug delivery. *Biomaterials*, *295*, 122456. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2023.122456