



Karakterisasi Pektin yang Diekstraksi dari Kulit Pisang Ambon Hijau (*Musa acuminata Colla*) dengan Spektroskopi FT-IR dan Analisis Kemometrik

(*Characterization of Pectin Extracted from Banana Peels (*Musa acuminata Colla*) using FTIR Spectroscopy and Chemometric Analysis*)

Renny Indrawati^{a*}, Olivia Laura Nitte^b, Yuyun Yuniati^c

^a Departemen Mata Kuliah Umum, Universitas Kristen Petra
Jalan Siwalankerto 121-131, Siwalankerto, Surabaya, 60236, Indonesia

^b Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ma Chung
Jalan Villa Puncak Tidar N-1, Karangwidoro, Malang, 65151, Indonesia

^c Jurusan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Dr. Soetomo
Jalan Semolowaru 84, Menur Pumpungan, Surabaya, 60118, Indonesia

*Corresponding author: renny.indrawati@petra.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.20.1.70208.1-11

Received 10 January 2023, Revised 27 August 2023, Accepted 14 September 2023, Published 30 March 2024

Kata kunci:

asam;
ekstraksi;
FTIR;
kemometrik;
kulit pisang;
pektin.

ABSTRAK. Limbah kulit buah pisang ambon hijau (*Musa acuminata Colla*) merupakan salah satu kandidat bahan baku pektin yang murah dan mudah ditemukan. Ekstraksi pektin dapat dilakukan dengan berbagai metode dan pelarut asam, namun akan mempengaruhi rendemen serta karakteristik pektin yang dihasilkan. Di sisi lain, spektroskopi FTIR dapat digunakan untuk karakterisasi pektin secara cepat, mudah, dengan sejumlah kecil sampel, tetapi data spektrum vibrasi pada rentang bilangan gelombang yang cukup luas seringkali tidak mudah dibedakan antar sampel. Analisis kemometrik multivariat dapat diterapkan untuk memudahkan analisis data. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan karakteristik pektin yang diekstraksi dari kulit pisang dengan variasi pelarut (asam klorida dan asam sitrat) dan waktu ekstraksi (5, 10, dan 15 menit) menggunakan metode *microwave*, serta melakukan komparasi pektin hasil ekstraksi terhadap pektin komersial dengan metode analisis FTIR dan kemometrik. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan ekstraksi pektin yang dikonfirmasi dengan adanya vibrasi gugus fungsi pektin pada spektrum FTIR. Analisis semi-kuantitatif dengan perbandingan data serapan gugus karboksil teresterifikasi dan karboksil bebas menunjukkan pektin hasil ekstraksi dengan pelarut asam sitrat memiliki derajat esterifikasi lebih tinggi dibandingkan hasil ekstraksi dengan asam klorida. Analisis komponen utama mengonfirmasi kedekatan spektrum pektin hasil ekstraksi dengan asam sitrat ataupun asam klorida selama 10 menit dengan spektrum pektin komersial.

Keywords:

acid;
extraction;
FTIR;
chemometric;
banana peels;
pectin.

ABSTRACT. Characterization of Pectin Extracted from Banana Peels (*Musa acuminata Colla*) using FTIR Spectroscopy and Chemometric Analysis. The peel of green banana *Musa acuminata Colla* is a potential source of pectin. Pectin extraction can be performed using various methods and solvents, but it might influence the characteristics of the result. On the other hand, FTIR spectroscopy can be used to rapidly and simply characterize pectin, but the vibrational data over a wide range of wavenumbers is not easily distinguished between samples. Multivariate chemometric analysis can be applied to ease data analysis. This study aimed to compare the characteristics of pectin obtained after microwave-assisted extraction of the banana peels using different solvents (hydrochloric acid and citric acid) and extraction time (5, 10, and 15 minutes), as well as to compare those pectins toward its commercial grade using chemometric analysis. The result showed successful pectin extraction, as revealed by particular vibrations of functional groups in the pectin structure. Based on semi-quantitative analysis, the absorption band ratio between esterified carboxyl groups and free carboxyl groups revealed that the pectin extracted using citric acid had a higher degree of esterification than that extracted using hydrochloric acid. Principal component analysis confirmed the closeness of pectin obtained after 10 minutes of extraction using citric acid or hydrochloric acid to that of commercial pectin.

PENDAHULUAN

Cite this as: Indrawati, R., Nitte, O. L., & Yuniati, Y. (2024). Karakterisasi Pektin yang Diekstraksi dari Kulit Pisang Ambon Hijau (*Musa acuminata Colla*) dengan Spektroskopi FTIR dan Analisis Kemometrik. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 20(1), 1-11.
<https://dx.doi.org/10.20961/alchemy.20.1.70208.1-11>.



Indonesia merupakan negara penghasil pisang terbesar ketiga di dunia dengan produksi pisang mencapai 8.182,76 ton pada tahun 2020 (Evans *et al.*, 2020). Kelimpahan produksi pisang tersebut juga didukung dengan konsumsi pisang dalam negeri yang semakin meningkat. Berdasarkan hasil Survey Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS), konsumsi pisang di Indonesia adalah sebesar 6,025 kg per kapita per tahun pada tahun 2014 dan mencapai 59,912 kg per kapita per tahun pada tahun 2018. Timbunan limbah kulit pisang menjadi salah satu konsekuensi logis dari peningkatan konsumsi pisang oleh masyarakat. Berat kulit pisang yang diperkirakan sepertiga dari berat buah utuh sebelum dikupas (Tchobanoglous *et al.*, 2003), membuat keberadaan limbah kulit buah pisang diprediksi mencapai 2,09 ton per tahun (Agtary, 2019).

Sejumlah hasil penelitian melaporkan potensi pemanfaatan kulit pisang sebagai bahan baku bioetanol, pupuk organik, serta karbon aktif (Wusnah *et al.*, 2020; Manis *et al.*, 2017; Fatimura, 2020). Namun, hingga saat ini belum ada sistem pengolahan yang secara khusus dikembangkan untuk memanfaatkan kulit pisang. Potensi lain dari limbah kulit buah-buahan, termasuk pisang, adalah keberadaan pektin sebagai karbohidrat perekat antar sel tumbuhan. Pektin merupakan senyawa polisakarida hidrokoloid yang sangat penting dan digunakan secara luas sebagai bahan pengental, *stabilizer*, pembentuk gel, hingga bahan pengemas yang dapat dimakan (*edible film*). Penjualan pektin secara global pada tahun 2020 mencapai 70.000 ton dan seluruhnya dihasilkan dari sumber alami, terutama buah-buahan seperti jeruk, apel, pisang, dan pepaya (Ciriminna *et al.*, 2022). Limbah kulit buah dapat mengandung pektin dalam jumlah 8–15% (Guzel and Akpinar, 2019).

Penelitian terkait kandungan pektin pada kulit pisang telah dilakukan terhadap sejumlah jenis pisang. Setidaknya terdapat 10 varietas pisang unggulan yang dibudidayakan di Indonesia, masing-masing memiliki ciri khas fisik dan kimia yang berbeda. Ekstraksi pektin dari kulit pisang raja diketahui dapat menghasilkan pektin sebanyak 4,43% (Hanum *et al.*, 2012), sedangkan ekstraksi kulit pisang kepok diketahui dapat menghasilkan hingga 11,93% pektin (Ahda and Berry, 2008). Pisang embug, yang merupakan hasil persilangan pisang raja dan pisang kepok kuning, dilaporkan mengandung 4,54% pektin. Selain itu, pisang agung dilaporkan mengandung 4,38% pektin (Nurhayati *et al.*, 2021). Pisang raja, pisang kepok, dan pisang agung termasuk jenis pisang olahan (plantain) yang harus diolah lebih dulu sebelum dikonsumsi. Berdasarkan penelusuran pustaka, kandungan pektin dari kelompok pisang meja, yang biasa dikonsumsi tanpa pengolahan, belum banyak dilaporkan. Tuholoula *et al.* (2013) melaporkan bahwa kadar pektin pisang meja dapat lebih tinggi dari pisang olahan karena kandungan karbohidrat yang lebih tinggi pada kulitnya, sehingga diduga semakin banyak pula protopektin yang dapat terhidrolisis menjadi pektin.

Pisang ambon hijau (*Musa acuminata* Colla) merupakan salah satu varietas pisang lokal yang berasal dari kawasan Asia Tenggara. Pisang ini banyak diminati karena termasuk kelompok pisang meja, memiliki tekstur lunak, rasa manis, dan dapat dikonsumsi langsung tanpa dimasak. Dibandingkan pisang raja dan pisang kepok, kulit pisang ambon hijau memiliki ketebalan lebih tipis dan tekstur lebih lunak. Penelitian terkait kandungan pektin dari kulit pisang ambon hijau belum dilaporkan hingga saat ini, sehingga dapat menjadi kebaruan penelitian untuk menemukan alternatif bahan baku pektin yang murah dan mudah diperoleh.

Selain bahan baku, pemilihan metode dan pelarut ekstraksi pektin menjadi faktor penting yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas pektin dari kulit pisang. Berdasarkan penelusuran pustaka, ekstraksi pektin dapat dilakukan dengan metode refluks, ultrasonik, serta *microwave* (Romadhon, 2017; Adhiksan, 2017; Devianti and Arifiyana, 2021). Ekstraksi pektin dengan menggunakan *microwave* menunjukkan kemampuan yang baik serta mampu memberikan jumlah rendemen yang memadai dalam waktu lebih singkat dibandingkan metode konvensional (Marić *et al.*, 2018; Lasunon and Sengkhampan, 2022). Penggunaan *microwave* memungkinkan pemanasan yang lebih cepat dan merata. Di sisi lain, asam yang digunakan sebagai pelarut ekstraksi dapat berasal dari kelompok asam organik (asam sitrat, tartarat, dan malat), ataupun asam mineral seperti asam klorida (Cho *et al.*, 2019; Panchami and Gunasekaran, 2017).

Karakterisasi pektin lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui sifat fungsional pektin pada saat diaplikasikan, misalnya kemampuan membentuk gel, sebagai pengental, pengemulsi, ataupun pemberi tekstur. Karakterisasi pektin yang umum dilakukan antara lain adalah kadar asam galakturonat, derajat esterifikasi, dan derajat metoksil. Analisis pektin dapat dilakukan dengan metode titrasi ataupun secara cepat dan mudah dengan spektroskopi FTIR. Namun, jumlah data pengukuran vibrasi FTIR yang cukup besar seringkali menimbulkan kesulitan saat diperlukan analisis komparasi terhadap pektin komersial. Metode kemometrik multivariat dilaporkan dapat diterapkan pada data spektroskopi FTIR, misalnya dengan *Principal Component Analysis* (PCA),

untuk mendapatkan informasi kedekatan/ kekerabatan antar sampel ([Santos *et al.*, 2020](#); [Baum *et al.*, 2017](#)). Berdasarkan penelusuran pustaka, analisis kemometrik serupa belum pernah dilakukan untuk data vibrasi FTIR pektin yang diperoleh dari kulit pisang.

Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah membandingkan karakteristik pektin yang diekstraksi dari kulit pisang dengan variasi pelarut dan lama waktu ekstraksi menggunakan metode *microwave*, dan melakukan komparasi pektin hasil ekstraksi terhadap pektin komersial dengan metode analisis FTIR dan kemometrik. Jenis pelarut yang digunakan adalah asam klorida dan asam sitrat, mewakili asam anorganik dan organik, sedangkan lama waktu ekstraksi yang diterapkan adalah 5, 10, dan 15 menit. Dalam penelitian ini, spektra FTIR pektin hasil ekstraksi dianalisis secara semi-kuantitatif untuk memprediksi derajat esterifikasi pektin yang dihasilkan, serta secara kemometrik untuk memeriksa kemiripannya dengan spektrum FTIR pektin komersial.

METODE PENELITIAN

Material

Peralatan yang digunakan adalah neraca analitik (Uni Bloc, Shimadzu, Jepang) dengan ketelitian 0,1 mg, oven (Memmert UNB 400, Jerman) untuk mengeringkan bahan dan pektin setelah ekstraksi, *moisture tester* (Shimadzu-MOC63U, Jepang) untuk mengukur kadar air bahan, *microwave* (Panasonic NN-ST32, Republik Rakyat Tiongkok) yang digunakan saat ekstraksi pektin, spektrometer Fourier Transform-Infra Red (JASCO FT/IR-6800) untuk karakterisasi pektin berdasarkan vibrasi gugus fungsional, serta peralatan gelas (IWAKI Pyrex, Jepang). Bahan baku yang digunakan sebagai sumber pektin adalah kulit pisang ambon hijau (479 gram) yang didapatkan dari limbah rumah tangga. Kulit pisang dijemur hingga kering dan memiliki kadar air sekitar 10%, kemudian kulit pisang dipotong, dihaluskan dengan penggiling hingga menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, dan diayak hingga menjadi serbuk kulit pisang. Bahan dan pelarut kimia yang digunakan untuk ekstraksi pektin meliputi asam sitrat ($C_6H_8O_7$, Emsure, $\geq 99,5\%$), asam klorida (HCl, Merck, 37%), akuades, dan etanol (C_2H_5OH , Merck, 96%). Reagensia yang digunakan unuk yang digunakan untuk karakterisasi kimia pektin adalah natrium klorida (NaCl, Merck, $\geq 99,9\%$), natrium hidroksida (NaOH, Merck, 99%), etanol (C_2H_5OH , Merck, 96%), asam klorida (HCl, Merck, 37%), serta indikator fenolftalein. Pektin komersial diperoleh dari supermarket (Toko Avia, Malang) dan digunakan sebagai pembanding.

Ekstraksi Pektin

Ekstraksi pektin dengan pelarut asam klorida dilakukan menurut metode yang dilaporkan oleh [Phaiphan \(2019\)](#), yaitu serbuk kulit pisang dituangkan ke dalam 0,05 M HCl pada rasio serbuk dan pelarut 1:20 (b/v) kemudian ekstraksi pektin dilakukan menggunakan *microwave* berdaya 750 Watt selama 5, 10, dan 15 menit. Selanjutnya, larutan disaring dengan kertas saring dan filtrat ditambahkan dengan etanol 96% pada perbandingan filtrat dan etanol 1:2 (v/v). Larutan filtrat didiamkan dalam suhu ruang selama 1 – 2 hari, dan endapan yang terbentuk pada dasar erlenmeyer dapat dikoleksi dengan cara filtrasi. Endapan tersebut diletakkan di atas kertas saring dan dikeringkan dalam oven (40 °C, 1 – 2 jam).

Ekstraksi pektin dengan pelarut asam sitrat dilakukan menurut metode yang telah dilaporkan sebelumnya ([Devianti dan Arifiyana, 2021](#)). Serbuk kulit pisang ditambah dengan pelarut 5% asam sitrat pada rasio bahan dan pelarut 1:50, selanjutnya ekstraksi pektin dilakukan menggunakan *microwave* dengan daya 750 Watt, suhu pemanasan diatur rendah (*low*) dan lama waktu ekstraksi adalah 5, 10, dan 15 menit. Selanjutnya, filtrat dipisahkan dengan kertas saring dan ditambahkan etanol 96% pada rasio filtrat dan etanol 1:1 (v/v). Campuran ini diendapkan selama 1 – 2 hari hingga tampak gumpalan pada dasar erlenmeyer. Pemisahan endapan pektin dilakukan dengan cara serupa seperti pada perlakuan ekstraksi dengan asam klorida. Rendemen ditentukan dengan menghitung presentase padatan pektin kering yang diperoleh terhadap berat kering serbuk kulit pisang yang digunakan.

Karakterisasi Pektin

Karakterisasi serbuk pektin yang diperoleh dari kulit pisang dan serbuk pektin komersial dilakukan dengan spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) dengan metode *Attenuated Total Reflectance* (ATR). Identifikasi pita vibrasi gugus fungsional pektin yang didapatkan dari kulit pisang akan dibandingkan dengan pektin komersial sebagai standar pembanding. Selain itu, analisis kimia terhadap pektin hasil ekstraksi juga dilakukan dengan metode titrasi untuk mengetahui berat ekivalen, kadar metoksil, kadar asam galakturonat, serta derajat esterifikasi.

Prosedur analisis berat ekuivalen pektin diawali dengan menimbang setengah gram sampel pektin, kemudian dihidrasi dengan 2 mL etanol 96% serta 100 mL akuades, kemudian ditambahkan 1 gram NaCl dan 6 tetes indikator fenolftalein (PP). Selanjutnya, campuran diaduk dengan *stirrer* dan dititrasi dengan larutan baku 0,1 N NaOH sampai terlihat perubahan warna menjadi merah muda sebagai penanda akhir titrasi. Volume NaOH yang digunakan untuk menetralisir sampel dicatat untuk menghitung berat ekuivalen, menggunakan [Persamaan \(1\)](#).

$$\text{Berat Ekuivalen } \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \frac{\text{Bobot sampel (g)}}{\text{V NaOH (mL)} \times \text{N NaOH}} \times 1000 \quad (1)$$

Pada penentuan kadar metoksil, larutan akhir yang diperoleh pada analisis berat ekuivalen (BE) ditambahkan dengan 25 mL larutan 0,2 N NaOH, kemudian diaduk dan diinkubasi dalam suhu ruang selama setengah jam. Selanjutnya, sebanyak 25 mL larutan 0,2 N HCl ditambahkan dan larutan akhir dititrasi dengan larutan baku 0,1 N NaOH hingga netral. Volume titran dicatat dan digunakan pada perhitungan kadar metoksil dengan faktor pengali 31 sesuai berat molekul dari gugus metoksil menggunakan [Persamaan \(2\)](#).

$$\text{Kadar metoksil (\%)} = \frac{\text{V NaOH (mL)} \times \text{N NaOH} \times 31}{\text{Bobot sampel (g)} \times 1000} \times 100 \quad (2)$$

Kadar asam galakturonat dihitung dengan menggunakan volume hasil titrasi yang didapatkan dari perhitungan analisis sebelumnya dengan faktor pengali 176 sesuai dengan berat molekul dari asam galakturonat, menggunakan [Persamaan \(3\)](#).

$$\text{Kag (\%)} = \frac{176 \times 0.1z \times 100}{\text{Bobot sampel (g)} \times 1000} \times \frac{176 \times 0.1y \times 100}{\text{Bobot sampel (g)} \times 1000} \quad (3)$$

Kag adalah kadar asam galakturonat; z adalah volume titran NaOH dari perhitungan berat ekuivalen; dan y adalah volume titran NaOH dari perhitungan kadar metoksil. Penentuan derajat esterifikasi dapat ditentukan dengan menggunakan [Persamaan \(4\)](#) merupakan konversi dari kadar asam galakturonat serta kadar metoksil.

$$\text{Derajat esterifikasi} = \frac{\% \text{ metoksi} \times 176}{\% \text{AG} \times 31} \times 100\% \quad (4)$$

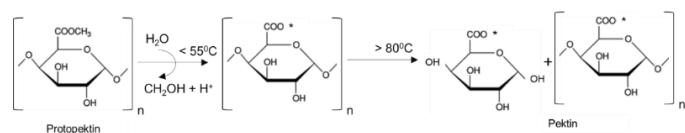
Analisis Kemometrik

Analisis ini dimulai dengan melakukan pemilihan variabel pembeda pada rentang bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} sesuai dengan pita-pita vibrasi gugus fungsional pektin. Tabulasi data transmitansi FTIR diolah dengan *principal component analysis* (PCA) atau analisis komponen utama dengan bantuan perangkat lunak Minitab v.17. Metode analisis multivariat ini akan menghasilkan nilai Eigen yang menunjukkan persentase kontribusi masing-masing komponen pembeda dalam data. Dua komponen yang memberikan perbedaan tertinggi ditunjukkan dengan nilai Eigen lebih besar dari 1 dan selanjutnya digunakan sebagai variabel x dan y pada *score plot* PCA yang menunjukkan sebaran data pektin dan kedekatannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

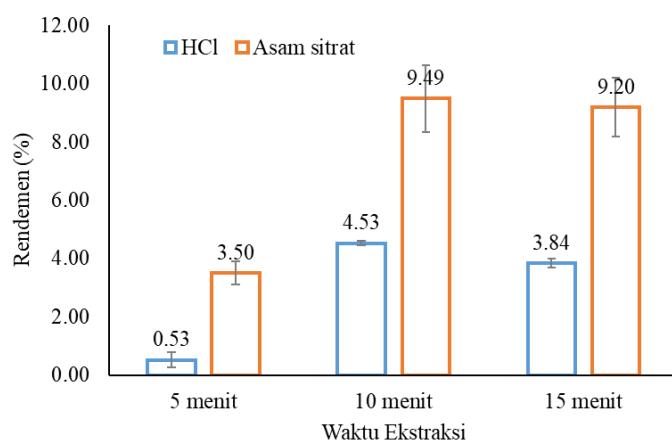
Pengaruh Perbedaan Pelarut dan Lama Waktu Ekstraksi Pektin

Prinsip utama dari ekstraksi pektin yaitu hidrolisis rantai protopektin menjadi pektin, yang ditandai dengan peningkatan sifat hidrofilik/ kelarutan dalam air. Hidrolisis protopektin dapat terjadi secara enzimatis ataupun non-enzimatis, yaitu dengan menambahkan asam disertai pemanasan ([Núñez-Morales *et al.*, 2022](#)). Pada penelitian ini, pelarut asam klorida dan asam sitrat digunakan untuk membantu ekstraksi pektin dari kulit pisang ambon hijau disertai dengan pemanasan dalam *microwave*. Reaksi hidrolisis protopektin yang terjadi adalah sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 1](#). Adanya pemanasan selama proses ekstraksi dapat membantu meningkatkan energi kinetik molekul serta kelarutan protopektin, sehingga mempercepat reaksi yang terjadi. Ekstraksi dengan bantuan pemanasan *microwave* melibatkan interaksi antara gelombang elektromagnetik dan bahan atau larutan reaksi sehingga pemanasan sampel dapat terjadi dalam waktu singkat dan merata ([Devianti *et al.*, 2019](#)). Apabila panas yang diberikan lebih merata, maka rendemen diharapkan lebih maksimal dengan penggunaan energi yang lebih rendah dalam waktu yang relatif lebih cepat ([Rahmawati *et al.*, 2019](#)).



Gambar 1. Mekanisme hidrolisis protopektin menjadi pektin dengan keberadaan asam dan pemanasan selama ekstraksi pektin

Perbandingan persentase rendemen pektin yang didapatkan dari kulit pisang ambon hijau dengan pelarut ekstraksi asam klorida dan asam sitrat adalah sebagaimana disajikan pada **Gambar 2**. Kulit pisang ambon hijau dapat menghasilkan rendemen pektin berkisar antara 0,53% – 9,49%. Nilai rendemen pektin yang diperoleh dari kulit pisang ambon hijau dapat melebihi pektin yang berhasil diekstraksi dari kulit pisang raja (4,43%), namun sedikit lebih rendah dibandingkan hasil yang diperoleh dari kulit pisang kepok (11,93%) ([Hanum *et al.*, 2012](#); [Ahda and Berry, 2008](#)). Hasil ini menunjukkan potensi kulit pisang ambon hijau untuk digunakan sebagai material sumber pektin yang murah, mudah diperoleh, serta tidak berkompetisi dengan ketersediaan bahan pangan yang dikonsumsi manusia.



Gambar 2. Rendemen hasil ekstraksi pektin dari kulit pisang ambon hijau menggunakan pelarut asam klorida dan asam sitrat, dengan metode *microwave-assisted* selama 5, 10, dan 15 menit

Rendemen pektin pada penggunaan pelarut asam sitrat (3,50% – 9,49%) menunjukkan kecenderungan hasil yang lebih banyak dibandingkan pelarut asam klorida (0,53% – 4,53%) pada lama waktu pemanasan yang sama. Perpanjangan lama waktu pemanasan dengan *microwave* dari 5 menit menjadi 10 menit dapat meningkatkan persentase rendemen yang dihasilkan. Namun, penambahan waktu pemanasan dari 10 menit hingga 15 menit menunjukkan perubahan hasil rendemen yang tidak jauh berbeda. Rendemen tertinggi diperoleh setelah ekstraksi dengan larutan asam sitrat selama 10 menit, yaitu 9,49%, sedangkan rendemen paling sedikit diperoleh dari ekstraksi menggunakan larutan asam klorida selama 5 menit.

Berdasarkan variasi jenis larutan asam yang digunakan, rerata rendemen pektin yang diperoleh dari pelarut asam sitrat cenderung lebih tinggi dibandingkan rerata yang diperoleh dari pelarut asam klorida. Hasil ini diduga karena asam sitrat memiliki tingkat keasaman yang lebih rendah sebagai asam lemah, sehingga pektin tidak terurai lebih lanjut menjadi asam pektat. Penggunaan asam kuat (asam klorida) diduga mempercepat pelepasan ion hidrogen serta hidrolisis protopektin, dan selanjutnya terjadi penguraian pektin menjadi asam pektat ([Haryati, 2006](#)).

Berdasarkan pengaruh lama pemanasan, hasil rendemen yang didapatkan mengalami peningkatan dari waktu ekstraksi 5 ke 10 menit, tetapi cenderung mengalami penurunan pada waktu ekstraksi 15 menit. Hasil serupa juga dilaporkan oleh [Phaiphan \(2020\)](#) yang menggunakan waktu ekstraksi serupa. Sesuai dengan prinsip ekstraksi, rendemen pektin pada suhu dan waktu tertentu akan mengalami titik maksimum dan kejemuhan, sehingga penambahan lama waktu ekstraksi tidak selalu dapat meningkatkan perolehan rendemen. Selain itu, pemanasan yang berlebihan dalam gelombang mikro dapat juga menyebabkan degradasi pektin ([Maran *et al.*, 2013](#)).

Karakterisasi kimia lebih lanjut dilakukan pada pektin yang diekstraksi dari kulit pisang ambon hijau dalam pelarut asam sitrat karena menunjukkan hasil rendemen yang lebih banyak daripada asam klorida. Nilai berat

ekuivalen, kadar asam galakturonat, kadar metoksil, serta derajat esterifikasi pektin yang diekstraksi dari kulit pisang ambon hijau disajikan pada [Tabel 1](#). Berat ekuivalen pektin yang didapatkan pada penelitian ini berkisar 375–649 mg/mol. Setelah ekstraksi selama 5 menit didapatkan pektin dengan berat ekuivalen sebesar 375 mg/mol, sedangkan ekstraksi selama 10 dan 15 menit menghasilkan pektin dengan berat ekuivalen 544 mg/mol dan 649 mg/mol. Berdasar hasil tersebut diketahui bahwa semakin meningkat lama waktu ekstraksi maka berat ekuivalen pektin yang diperoleh juga semakin tinggi. Bobot molekul suatu pektin dapat bervariasi, bergantung dari jenis tanaman, kualitas bahan baku, metode ekstraksi dan perlakuan selama ekstraksi ([Fitria, 2013](#)).

Tabel 1. Berat ekuivalen, kadar asam galakturonat, kadar metoksil, dan derajat esterifikasi pektin dari kulit pisang ambon hijau pada ekstraksi dengan asam sitrat menggunakan metode *microwave-assisted* selama 5, 10, dan 15 menit.

Jenis Analisis Pektin	Lama Waktu Ekstraksi		
	5 menit	10 menit	15 menit
Berat ekuivalen (mg/mol)	375	544	649
Kadar asam galakturonat (%)	75,10	94,70	62,20
Kadar metoksil (%)	6,70	10,60	6,20
Derajat esterifikasi (%)	50,80	63,80	56,60

Kadar asam galakturonat dari pektin yang berasal dari kulit pisang dengan lama waktu ekstraksi 5 menit adalah 75,10%, sedangkan pada lama waktu ekstraksi 10 dan 15 menit diperoleh kadar asam galakturonat sebesar 94,70% dan 62,20%. Kadar asam galakturonat mengalami kenaikan pada perpanjangan lama waktu ekstraksi 5 menjadi 10 menit, namun kemudian menurun ketika pemanasan dalam *microwave* diperpanjang menjadi 15 menit. Peningkatan dan penurunan kadar asam galakturonat dimungkinkan saat perpanjangan waktu ekstraksi karena kombinasi fenomena yang terjadi bersamaan, yaitu pelepasan gula sebagai produk dari hidrolisis pektin yang meningkatkan kadar asam galakturonat, sekaligus degradasi produk itu sendiri akibat adanya panas dan asam ([Oliveira *et al.*, 2016](#)). Namun demikian, kadar asam galakturonat pektin dari kulit pisang yang dihasilkan dalam penelitian ini masih lebih tinggi dibandingkan nilai yang terukur dari pektin komersial, yaitu sebesar 59,60%. Berdasarkan *International Pectin Producers Association* (IPPA), nilai minimal kadar asam galakturonat pektin adalah sebesar 35%.

Kadar metoksil pektin hasil ekstraksi kulit pisang ambon hijau adalah sebesar 6,70%; 10,60% dan 6,20% pada lama waktu ekstraksi berturut-turut 5, 10, dan 15 menit. Ketika dibandingkan dengan kadar metoksil pektin komersial (6,50%), kadar metoksil pektin dari kulit pisang ambon juga lebih tinggi. Berdasarkan acuan IPPA, kadar metoksil pektin yang didapatkan setelah ekstraksi selama 5 dan 15 menit termasuk ke dalam kategori metoksil sedang, sedangkan kadar metoksil pektin yang diperoleh setelah ekstraksi selama 10 menit termasuk ke dalam kadar metoksil tinggi. Kadar metoksil pektin dari kulit pisang ambon juga lebih tinggi daripada pektin yang diekstraksi dari kulit pisang kepok, yaitu 3,60%, sebagaimana dilaporkan oleh [Pagarra *et al.* \(2020\)](#).

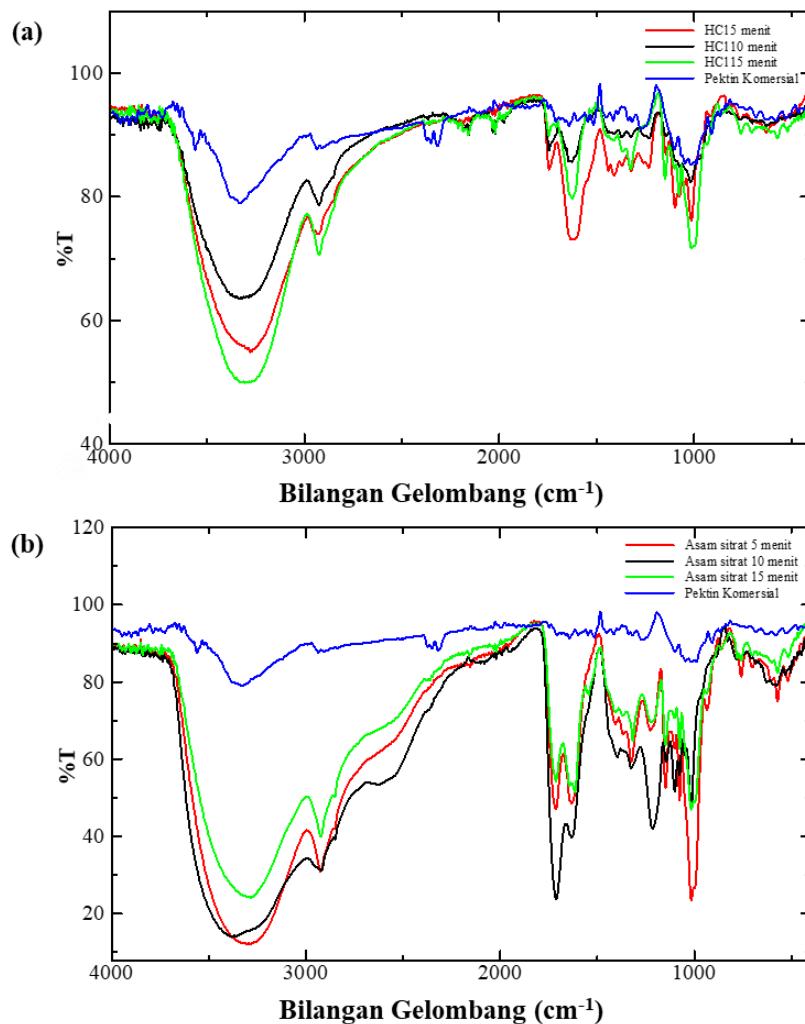
Selama perpanjangan waktu ekstraksi pektin, kadar metoksil mengalami peningkatan hingga waktu tertentu, kemudian mengalami penurunan. Perpanjangan waktu pemanasan selama ekstraksi pektin berdampak pada peningkatan kadar metoksil pektin, namun apabila ekstraksi dan pemanasan diperpanjang lebih lanjut, pektin akan cenderung mengalami penurunan kadar metoksilnya ([Fakhrizal *et al.*, 2015](#)). Penurunan kadar metoksil dapat disebabkan karena degradasi pektin akibat paparan yang lebih lama terhadap energi gelombang mikro ([Bagherian *et al.*, 2011](#)).

Lebih lanjut, derajat esterifikasi pektin dari kulit pisang ambon hijau setelah ekstraksi selama 5, 10 dan 15 menit dalam *microwave* adalah berturut-turut sebesar 50,80%, 63,80%, dan 56,60%. Nilai yang diperoleh pada penelitian ini berada pada kisaran nilai derajat esterifikasi pektin komersial, yaitu sebesar 61,9%. Berdasarkan standar mutu pektin IPPA, nilai derajat esterifikasi pektin di atas 50% merupakan ciri dari pektin dengan kadar metoksil tinggi. Penurunan derajat esterifikasi pektin yang diperoleh setelah pemanasan selama 15 menit diduga karena terjadi degradasi gugus metil ester pektin menjadi asam karboksil, yang dapat terjadi dengan keberadaan asam. Ikatan glikosidik gugus metil ester cenderung mudah terhidrolisis sehingga terbentuk monomer pektin yaitu asam galakturonat. Jika waktu ekstraksi dan pemanasan diperpanjang, maka pektin akan terkonversi membentuk asam pektat di mana gugus metil ester dibebaskan dari asam galakturonat.

Identifikasi Pektin dengan Spektroskopi FTIR

Pektin hasil ekstraksi dari kulit pisang ambon hijau dianalisis dengan spektroskopi inframerah untuk mengonfirmasi gugus-gugus fungsional yang terdapat pada pektin. Pada tahapan ini, pektin komersial turut dianalisis untuk dibandingkan dengan pektin yang diperoleh dari kulit pisang ambon hijau. Adapun spektrum FTIR dari pektin hasil ekstraksi kulit pisang ambon hijau menggunakan pelarut asam klorida dan asam sitrat disajikan pada [Gambar 3 \(a\)](#) dan [\(b\)](#) berturut-turut.

Pada spektrum inframerah pektin komersial terdapat pita transmitansi lebar pada bilangan gelombang 3330 cm^{-1} , sedangkan pada pektin hasil ekstraksi selama 5 dan 10 menit tampak puncak pada 3294 cm^{-1} dan 3377 cm^{-1} berturut-turut. Adanya pita transmitansi di wilayah sekitar 3290 cm^{-1} mengidentifikasi adanya serapan dari gugus hidroksil (O-H). Transmitansi pada bilangan gelombang 2935 cm^{-1} untuk pektin komersial, 2923 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 5 menit, 2918 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 10 menit, 2925 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 15 menit yang merupakan identifikasi gugus $-\text{CH}_3$ (metil), bilangan gelombang 1733 cm^{-1} untuk pektin komersial, 1714 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 5 menit, 1713 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 10 dan 15 menit menunjukkan vibrasi peregangan (*stretching*) gugus C=O, bilangan gelombang 1643 cm^{-1} untuk pektin komersial, 1630 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 5 menit, 1631 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 10 menit, 1616 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 15 menit yang mengindikasikan vibrasi *asymmetric stretching* dari gugus COO⁻.



Gambar 3. (a) Spektra FTIR pektin dari kulit pisang ambon hijau yang diekstraksi dengan pelarut asam klorida, dan (b) Spektra FTIR pektin dari kulit pisang ambon hijau yang diekstraksi dengan pelarut asam sitrat, masing-masing dibandingkan dengan pektin komersial.

Di samping itu, pada bilangan gelombang 1318 cm^{-1} untuk pektin komersial, 1324 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 5 menit, 1326 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 10 menit, 1316 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 15 menit yang menunjukkan vibrasi peregangan (*stretching*) gugus C-H. Untuk gugus C-O (alkohol, ester) ditunjukkan pada bilangan gelombang 1101 cm^{-1} untuk pektin komersial, 1149 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 5 menit, 1101 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 10 menit, 1148 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 15 menit dan pada bilangan gelombang 1017 cm^{-1} untuk pektin komersial, 1015 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 5 menit, 1017 cm^{-1} untuk pektin hasil ekstraksi 10 menit dan pektin hasil ekstraksi 15 menit pada bilangan gelombang 1017 cm^{-1} merupakan gugus -O- (eter).

Hasil spektrum FTIR dari pektin hasil ekstraksi dengan pelarut asam sitrat dan HCl serta hasil spektrum FTIR dari pektin komersial sudah menunjukkan bahwa sampel yang diidentifikasi tergolong sebagai pektin. Gugus fungsi yang terdapat pada pektin komersial dapat diidentifikasi dan dicocokkan dengan pektin hasil ekstraksi dari kulit pisang Ambon hijau. Apabila dibandingkan dengan literatur spektrum FTIR pektin hasil ekstraksi juga menunjukkan hasil yang sama.

Hasil analisis semi kuantitatif dengan FTIR ([Tabel 2](#)) menunjukkan hasil rasio yang baik pada penggunaan pelarut asam sitrat. Diketahui nilai rasio serapan gugus karboksil teresterifikasi dan karboksil bebas pada pektin yang dikoleksi setelah 5 menit ekstraksi dengan asam sitrat adalah sebesar 1,05. Kemudian nilai rasio untuk pektin yang dikoleksi setelah 10 dan 15 menit ekstraksi adalah 1,55 dan 0,92. Nilai rasio tersebut mengalami peningkatan setelah perpanjangan waktu ekstraksi dari 5 menjadi 10 menit, kemudian menurun apabila diperpanjang menjadi 15 menit. Nilai rasio tersebut mendekati nilai rasio absorbansi yang diperoleh dari sampel pektin komersial yakni sebesar 1,76.

Tabel 2. Rasio relatif puncak serapan FTIR gugus karboksil teresterifikasi dan karboksil bebas dari pektin hasil ekstraksi kulit pisang ambon hijau.

Perlakuan sampel	Serapan karboksil teresterifikasi (A) ($1713\text{-}1745\text{ cm}^{-1}$)	Serapan karboksil bebas (B) ($1613\text{-}1633\text{ cm}^{-1}$)	Rasio A/B
Pektin komersial	0,0738	0,0420	1,76
Ekstraksi dengan asam klorida			
5 menit	0,0634	0,1246	0,51
10 menit	0,0386	0,0469	0,82
15 menit	0,0322	0,0822	0,39
Ekstraksi dengan asam sitrat			
5 menit	0,2916	0,2784	1,05
10 menit	0,5556	0,3582	1,55
15 menit	0,2340	0,2555	0,92

Ekstraksi pektin selama 5, 10, dan 15 menit dengan pelarut asam klorida memiliki rasio serapan gugus karboksil teresterifikasi dan karboksil bebas sebesar 0,51; 0,82; dan 0,39. Hasil yang sama juga didapatkan pada pelarut HCl yakni mengalami peningkatan rasio pada lama waktu ekstraksi 10 menit. Apabila dibandingkan dengan rasio pektin komersial yakni sebesar 1,76, dapat diketahui bahwa ekstraksi dengan HCl memiliki nilai rasio dibawah pektin komersial dengan nilai kurang dari satu, sehingga dapat diduga bahwa hasil ekstraksi dengan pelarut HCl memiliki derajat esterifikasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pelarut asam sitrat.

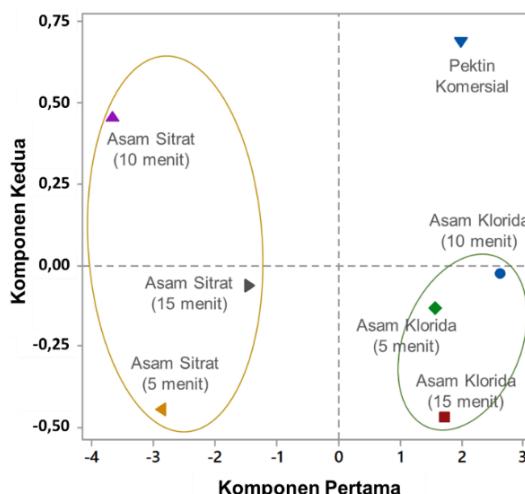
Analisis Kemometrik

Analisis kemometrik dengan pendekatan PCA memiliki tujuan utama untuk mereduksi atau mengurangi jumlah data, khususnya data yang memiliki banyak variabel. Sejumlah variabel dalam suatu matriks data akan disederhanakan menjadi variabel baru dengan tidak mengubah informasi utama yang tersimpan dalam data. Variabel baru tersebut dinyatakan dalam angka/ skor dan disebut juga sebagai komponen utama. [Gambar 4](#) menampilkan *score plot* model PCA untuk pektin yang diperoleh dari kulit pisang ambon hijau setelah ekstraksi dengan larutan asam klorida dan asam sitrat selama 5 hingga 15 menit, serta dibandingkan dengan sampel pektin komersial yang dibeli di pasaran.

Dalam wilayah keempat kuadran yang terbentuk, tampak bahwa sampel pektin yang dikoleksi setelah ekstraksi dengan asam sitrat dan asam klorida masing-masing berdekatan membentuk kelompok, sedangkan pektin

komersial berada pada kuadran kanan atas yang berbeda. Hasil PCA tersebut menunjukkan bahwa karakteristik data FTIR pada sampel pektin yang diekstraksi dengan jenis pelarut yang sama menunjukkan kemiripan. Namun, kedua kelompok tersebut masih berbeda dari pektin komersial. Hal ini diduga karena adanya perbedaan kemurnian dan intensitas vibrasi pektin yang terukur dengan spektroskopi FTIR. Sebagaimana diketahui pada [Gambar 3](#), intensitas transmitansi pektin komersial lebih rendah dibandingkan pektin hasil ekstraksi. Kemurnian masing-masing sampel pektin yang belum dapat ditentukan juga menjadi keterbatasan hasil penelitian ini.

Apabila dibandingkan dengan hasil analisis kimia pektin yang diperoleh dari kulit pisang ambon hijau dengan pelarut asam sitrat, tren kedekatan sampel menunjukkan pola yang serupa. Sampel pektin dari kulit pisang ambon hijau dengan pelarut asam sitrat setelah ekstraksi selama 10 menit menunjukkan nilai kadar asam galakturonat, kadar metoksil, serta derajat esterifikasi yang terbaik, diikuti dengan sampel pektin hasil ekstraksi selama 15 menit dan 5 menit. Pada *score plot* PCA, tampak bahwa sampel pektin yang diekstraksi dengan asam sitrat selama 10 menit berada pada kuadran positif yang sama dengan pektin komersial menurut variabel komponen kedua (*second component*), kemudian menurun diikuti dengan urutan yang serupa. Sampel pektin dari kulit pisang ambon hijau dengan pelarut asam klorida juga menunjukkan hasil terbaik setelah ekstraksi selama 10 menit, menyerupai hasil yang diperoleh pada data rendemen hasil ekstraksi. Perpanjangan lama waktu ekstraksi dengan asam klorida hingga 15 menit diduga menyebabkan degradasi pektin akibat keberadaan asam kuat, sehingga terletak lebih jauh dari pektin komersial dibandingkan hasil ekstraksi selama 5 menit.



Gambar 4. *Score plot* hasil analisis komponen utama data FTIR pektin hasil ekstraksi dari kulit pisang ambon hijau dengan pelarut asam klorida dan asam sitrat selama 5, 10, dan 15 menit, dibandingkan dengan pektin komersial.

KESIMPULAN

Senyawa hidrokoloid pektin dapat diekstraksi dari limbah kulit pisang ambon hijau menggunakan *microwave-assisted method* dengan pelarut asam klorida dan asam sitrat. Ekstraksi pektin dengan pelarut asam sitrat memberikan rendemen yang lebih banyak dibandingkan pelarut asam klorida. Nilai kadar asam galakturonat, kadar metoksil, dan derajat esterifikasi pektin meningkat apabila lama waktu ekstraksi diperpanjang dari 5 menjadi 10 menit, namun selanjutnya akan menurun apabila ekstraksi diperpanjang hingga 15 menit. Analisis spektroskopi FTIR mengkonfirmasi keberadaan gugus fungsional pektin. Data FTIR tersebut dapat dianalisis lebih lanjut dengan metode kemometrik PCA dan menunjukkan kekerabatan antar sampel pektin dengan pelarut ekstraksi yang sama. Lama waktu pemanasan selama ekstraksi pektin yang disarankan adalah 10 menit dengan pelarut asam sitrat, karena menunjukkan nilai kadar asam galakturonat, kadar metoksil, dan derajat esterifikasi yang terbaik dan mendekati pektin komersial, yaitu 94,70%; 10,60%; dan 63,80% berturut-turut.

KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

RI: Konseptualisasi, Metodologi, Analisis Data, Penulisan Draf Manuskrip, Akuisisi Pendanaan; OLN: Penyelidikan, Analisis Data, Penulisan Draf Manuskrip; YY: Supervisi, Telaah dan Penyuntingan Manuskrip.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan apresiasi dan terima kasih pada Universitas Ma Chung yang telah menyediakan bantuan dana penelitian melalui program Ma Chung Research Grant 2022 (No. kontrak: 014/MACHUNG/LPPM-MRG-MAD/III/2022). Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Sdri. Amelia M. Lolita, S.Farm. dan Sdri. S. Alfisyah Nur Aziza, S.Si. atas dukungannya selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Adhiksan, A., 2017. Perbandingan Metode Konvensional Ekstraksi Pektin dari Kulit Buah Pisang dengan Metode Ultrasonik. *Journal of Research and Technology*, 3(2), 80–87.

Agtary, R. P., 2019. Pemanfaatan Kulit Pisang Menjadi Kue Donat Sebagai Upaya Pengolahan Limbah Kulit Pisang. <<https://osf.io/preprints/inarxiv/4chb7/>> (diakses pada 30 Desember 2022).

Ahda, Y. and Berry, S., 2008. *Pengolahan Limbah Kulit Pisang Menjadi Pektin dengan Metode Ekstraksi*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

Bagherian, H., Ashtiani, F. Z., Fouladitajar, A., and Mohtashamy, M., 2011. Comparisons Between Conventional, Microwave and Ultrasound Assisted Methods for Extraction of Pectin from Grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(11), 1237–1243. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.08.002>.

Baum, A., Dominiak, M., Vidal-Melgosa, S., Willats, W. G., Søndergaard, K. M., Hansen, P. W., and Mikkelsen, J. D., 2017. Prediction of Pectin Yield and Quality by FTIR and Carbohydrate Microarray Analysis. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 143–154. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1802-2>.

Chatjigakis, A.K., Pappas, C., Proxenia, N., Kalantzi, O., Rodis, P., and Polissiou, M., 1998. FTIR Spectroscopic Determination of the Degree of Esterification of Cell Wall Pectins from Stored Peaches and Correlation to Textural Changes. *Carbohydrate Polymers*, 37, 395–408. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00057-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00057-5).

Cho, E. H., Jung, H. T., Lee, B. H., Kim, H. S., Rhee, J. K., and Yoo, S. H., 2019. Green Process Development for Apple-Peel Pectin Production by Organic Acid Extraction. *Carbohydrate Polymers*, 204, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.086>.

Ciriminna, R., Fidalgo, A., Scurria, A., Ilharco, L. M., and Pagliaro, M., 2022. Pectin: New Science and Forthcoming Applications of The Most Valued Hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 107483. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107483>.

Devianti, V. A., and Arifiyana, D., 2021. Optimasi Lama Waktu Ekstraksi dengan Metode MAE pada Pektin dari Kulit Pisang. *Journal of Herbal, Clinical and Pharmaceutical Science (HERCLIPS)*, 3(01), 21–25. <https://doi.org/10.30587/herclips.v3i01.3116>.

Devianti, V. A., Chrisnandari, R. D., and Darmawan, R., 2019. Pengaruh Metode Ekstraksi Terhadap Mutu Pektin dari Kulit Pisang Raja Nangka. *Jurnal Kimia Riset*, 4(2), 170. <https://doi.org/10.20473/jkr.v4i2.15753>.

Evans, E. A., Ballen, F. H., and Siddiq, M., 2020. Banana Production, Global Trade, Consumption Trends, Postharvest Handling, and Processing. In: *Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology, and Nutrition*. John Wiley and Sons Ltd., Hoboken (Chapter 1).

Fakhrizal, F.R. and Ristianingsih, Y., 2015. Pengaruh Konsentrasi Pelarut HCl Pada Ekstraksi Pektin dari Kulit Pisang Ambon. *Konversi*, 4(2), 36–40.

Fatimura, M., Masriatini, R., and Putri, F., 2020. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Menjadi Karbon Aktif Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator NaCl. *Jurnal Redoks*, 5(2), 87–91. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.4924>.

Fitria, V., 2013. *Karakterisasi Ppektin Hhasil Ekekstraksi dari Lilimbah Kkulin Ppisang Kakapok (Musa balbisiana ABB)*. Skripsi. Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.

Guzel, M. and Akpinar, O., 2019. Valorisation of Fruit By-Products: Production Characterization of Pectins from Fruit Peels. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.009>.

Hanum, F., Kaban, I. M. K., and Tarigan, M. A., 2012. Ekstraksi Pektin Dari Kulit Buah Pisang Raja (*Musa sapientum*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(2), 21–26. <https://doi.org/10.32734/jtk.v1i2.1413>.

Haryati, M., 2006. Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin dari Limbah Proses Pengolahan Jeruk Pontianak (*Citrus nobilis var microcarpa*). Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Lasunon, P., and Sengkhamparn, N., 2022. Effect of Ultrasound-Assisted, Microwave-Assisted and Ultrasound-Microwave-Assisted Extraction on Pectin Extraction from Industrial Tomato Waste. *Molecules*, 27(4), 1157. <https://doi.org/10.3390/molecules27041157>.

Manis, I., Supriadi, S., and Said, I., 2017. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Pupuk Organik Cair dan Aplikasinya Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans* Poir). *Jurnal Akademika Kimia*, 6(4), 219–226.

Maran, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandhan, K., and Sridhar, R., 2013. Optimization of Microwave Assisted Extraction of Pectin from Orange Peel. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 703–709. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.052>.

Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., and Brnčić, S. R., 2018. An Overview of The Traditional and Innovative Approaches for Pectin Extraction from Plant Food Wastes and By-Products: Ultrasound-, Microwaves-, and Enzyme-Assisted Extraction. *Trends in Food Science and Technology*, 76, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.022>.

Núñez-Morales, J., Jaramillo, L. I., Espinoza-Montero, P. J., and Sánchez-Moreno, V. E., 2022. Evaluation of Adding Natural Gum to Pectin Extracted from Ecuadorian Citrus Peels as An Eco-Friendly Corrosion Inhibitor for Carbon Steel. *Molecules*, 27(7), 2111. <https://doi.org/10.3390/molecules27072111>.

Nurhayati, N., Soetriono, S., and Akhiriani, S., 2021. *Teknoekonomi Pengolahan Limbah Kulit Pisang*. UPT Penerbitan dan Percetakan Universitas Jember, Jember.

Oliveira, T. I. S., Rosa, M. F., Cavalcante, F. L., Pereira, P. H. F., Moates, G. K., Wellner, N., and Azeredo, H. M., 2016. Optimization of Pectin Extraction from Banana Peels with Citric Acid by Using Response Surface Methodology. *Food Chemistry*, 198, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.080>.

Pagarra, H., Hartati, H., Purnamasari, A. B., and Muhammad, N., 2020. Characterization And Qualitative Analysis of Pectin from Kepok Banana Peels. *AIP Conference Proceedings*, 020044. <https://doi.org/10.1063/5.0023107>.

Panchami, P. S., and Gunasekaran, S., 2017. Extraction and Characterization of Pectin from Fruit Waste. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8), 943–948. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.116>.

Phaipan, A., 2019. Optimisation of Pectin Extraction Assisted by Microwave from Banana (*Musa Sapientum* L.) Fruit Peels Using Response Surface Methodology. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 126–139. <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2019.11.2.10>.

Phaiphan, A., Churat, S., Dougta, T., Wichalin, P., Khanchai, W., and Penjumras, P., 2020. Effects of Microwave and Ultrasound on The Extraction of Pectin and Its Chemical Characterisation of Banana (*Musa sapientum* L.) Peels. *Food Research*, 4(6), 2030–2036. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(6\).248](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).248).

Rahmati, S., Abdullah, A., and Kang, O. L. 2019. Effects of Different Microwave Intensity on The Extraction Yield and Physicochemical Properties of Pectin from Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peels. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 18, 100186. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100186>.

Rahmawati, M., Arief, M., and Satyantini, W. H., 2019. The Effect of Sorbitol Addition on the Characteristic of Carrageenan Edible Film. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236, 012129. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/236/1/012129>.

Romadhoni, F. P., 2017. *Isolasi Pektin dari Kulit Pisang Kepok (Musa balbisiana Abb) dengan Metode Refluks Menggunakan Pelarut HCl Encer*. Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Santos, E. E., Amaro, R. C., Bustamante, C. C. C., Guerra, M. H. A., Soares, L. C., and Froes, R. E. S., 2020. Extraction of Pectin from Agroindustrial Residue with An Ecofriendly Solvent: Use of FTIR and Chemometrics to Differentiate Pectins According to Degree of Methyl Esterification. *Food Hydrocolloids*, 107, 105921. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105921>.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S., 2003. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw Hill, New York.

Tuhuloula, A., Budiyarti, L., and Fitriana, E. N., 2013. Karakterisasi Pektin dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi. *Konversi*, 2(1), 21–27. <https://doi.org/10.20527/k.v2i1.123>.

Wusnah, W., Bahri, S., and Hartono, D., 2019. Proses Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* B.C) secara Fermentasi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(1), 48–56. <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i1.1915>.