



## Studi Kinetika Ekstraksi Pektin dari Kulit Buah Pisang Kepok

Isnaini Rahmi, Annisa Fairus, Luthfi Kurnia Dewi<sup>\*</sup>, dan Vivi Nurhadianty

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>\*</sup> Penulis korespondensi: [luthfikurnia@ub.ac.id](mailto:luthfikurnia@ub.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.rbaet.2023.007.02.06>

### Abstract

#### Article History

Submitted:

August 20, 2022

Accepted:

October 30, 2023

Published:

October 31, 2023

© 2023 Universitas  
Brawijaya

*Kinetic Study of Pectin Extraction from Kepok Banana Peel. Pectin is one of the polysaccharides that located in plant cell walls along with cellulose, lignin, and hemicellulose. The method for obtaining pectin is extraction. During the extraction process, there is reaction kinetic occur. This study aims to determine the extraction kinetics of kepok banana peel including reaction rate constants and activation energy with variations in extraction time. Secondary data that is processed are 1; 1,5; and 2 of pH extraction, 80°C and 90°C of temperature extraction, time extraction 70, 80, 90, and 100 minutes, and yield of pectin. The result showed that the value of the degradation constant ( $k_2$ ) is smaller than the value of the extraction constant ( $k_1$ ) on all variables. The highest  $Y_{e_{max}}$  is 41,88% that was found at pH 1,5; 90°C and 80 minutes of extraction times. The lowest value of activation energy for pectin formation ( $E_{a1}$ ) is 17,812 kJ/mol and the highest value of activation energy for pectin degradation ( $E_{a2}$ ) is 3,787 kJ/mol, both of which are found at pH 1,5. The optimum conditions for extracting pectin from kepok banana peel were at pH extraction 1,5 and 90°C of temperature extraction taking into account the values of  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $Y_{e_{max}}$ ,  $t_{max}$ , and activation energy.*

**Keywords:** degradation, extraction, reaction kinetics, pectin

### Abstrak

Pektin merupakan salah satu polisakarida yang terletak di dinding sel tumbuhan bersamaan dengan polisakarida lain yaitu selulosa, lignin, dan hemiselulosa. Metode untuk mendapatkan pektin adalah ekstraksi. Selama proses ekstraksi berlangsung terdapat kinetika reaksi yang terjadi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kinetika ekstraksi pektin kulit pisang kepok meliputi konstanta laju reaksi dan energi aktivasi dengan variasi waktu ekstraksi. Penelitian ini dilakukan dengan mengolah data sekunder. Data sekunder yang diolah adalah pH ekstraksi 1; 1,5; dan 2, suhu ekstraksi 80°C dan 90°C, waktu ekstraksi 70, 80, 90, dan 100 menit, serta yield pektin. Hasil penelitian menunjukkan nilai konstanta degradasi ( $k_2$ ) lebih kecil daripada nilai konstanta ekstraksi ( $k_1$ ) pada semua variabel.  $Y_{e_{max}}$  tertinggi terdapat pada pH 1,5 suhu 90°C sebesar 41,88% dengan  $t_{max}$  80 menit. Nilai energi aktivasi pembentukan pektin ( $E_{a1}$ ) terkecil adalah 17,812 kJ/mol dan energi aktivasi degradasi pektin ( $E_{a2}$ ) terbesar adalah -3,878 kJ/mol yang keduanya terdapat dalam pH 1,5. Kondisi optimum ekstraksi pektin kulit buah pisang kepok pada penelitian ini pada pH 1,5 suhu 90°C dengan memperhatikan nilai  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $Y_{e_{max}}$ ,  $t_{max}$ , dan energi aktivasi.

**Kata kunci:** degradasi, ekstraksi, kinetika reaksi, pektin



## PENDAHULUAN

Produksi buah pisang di Indonesia pada tahun 2020 adalah sebesar 8.182.756 ton dengan Jawa Timur sebagai provinsi penghasil terbesar yaitu sebesar 2.618.795 ton. Salah satu jenis pisang yang mudah ditemui dan banyak diolah adalah pisang kepok. Pisang kepok dapat diolah menjadi pisang goreng, keripik pisang, kue pisang, dan lainnya. Bagian yang paling sering diolah adalah daging buah pisang, sedangkan kulitnya belum dimanfaatkan secara maksimal. Semakin banyak produksi dan olahan pisang kepok, maka semakin banyak pula limbah kulit pisang kepok yang dihasilkan. Padahal di dalam kulit pisang mengandung pektin sebesar 22,4% yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut menjadi bahan dasar industri makanan, minuman, dan farmasi [1].

Menjadikan kulit buah sebagai sumber pektin merupakan bentuk dari pemanfaatan limbah bahan pangan. Diantaranya kulit kakao, diketahui bahwa kulit kakao memiliki kadar pektin sebesar 16,27% yang dapat digunakan sebagai sumber pektin [2]. Melihat kebutuhan pektin yang terus meningkat dari tahun ketahun, maka perlu diketahui berbagai sumber pektin yang lain [3]. **Tabel 1** menunjukkan kadar pektin yang terdapat di berbagai buah [4].

**Tabel 1.** Kandungan Pektin di Berbagai Buah

Sumber Pektin	Kandungan Pektin (%)
Apel	0,5-1,6
Pir	0,4-1,3
Persik	0,1-0,9
Jeruk	0,6
Kulit Jeruk	3,5-5,5

Pektin merupakan senyawa turunan polisakarida kompleks dan terdapat di dalam dinding sel primer tanaman, lebih tepatnya berada diantara celah selulosa dan hemiselulosa. Keberadaan senyawa pektin berguna dalam perekatan dinding sel yang satu dengan lainnya. Sedangkan dalam sektor industri senyawa pektin berguna sebagai bahan pembentukan gel, proses pembuatan makanan, persiapan buah untuk yoghurt, bahan tambahan untuk kosmetik dan obat-obatan [5]. Selama ini Indonesia memenuhi kebutuhan pektin dalam negeri dengan melakukan import. Pada tahun 2020, Indonesia mengimpor pektin sebanyak 369.361 kg dengan menghabiskan biaya sebesar \$ 29.822.014.

Salah satu metode untuk mendapatkan senyawa pektin yang terkandung dalam kulit pisang kepok adalah dengan cara ekstraksi. Ekstraksi adalah metode yang bertujuan untuk memisahkan satu komponen campuran dari zat padat atau zat cair

dengan menggunakan bantuan pelarut. Tingkat efektivitas ekstraksi suatu senyawa dikarenakan pelarut bergantung pada kelarutan senyawa tersebut dalam pelarut. Hal ini sesuai dengan prinsip like dissolve like dengan arti senyawa akan terlarut pada pelarut yang sifatnya sama. Pelarut dapat dikategorikan menjadi pelarut polar, semipolar dan non polar. Waktu ekstraksi menjadi faktor yang berpengaruh pada proses ekstraksi pektin. Waktu ekstraksi mempengaruhi jumlah ion hidrogen yang dapat menggantikan Ca dan Mg dari protopektin sehingga mempengaruhi jumlah pektin yang terekstrak [5].

Pektin dapat terhidrolisis menjadi asam pektat dimana gugus metil ester berubah menjadi asam karboksilat [6]. Salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya degradasi pektin adalah waktu ekstraksi. Semakin lama waktu ekstraksi maka pektin yang didapatkan akan semakin meningkat karena pelarut dengan zat terlarut berkontak dalam waktu yang lama, sehingga pelarut mampu mengikat lebih banyak senyawa pektin [7]. Namun, waktu ekstraksi yang terlalu lama dapat menyebabkan rendemen pektin menurun karena pektin akan terhidrolisis lebih lanjut menjadi asam pektat [8]. Pektin yang berada di dalam jaringan tanaman akan diekstraksi dengan menggunakan larutan asam. Proses ekstraksi pektin memanfaatkan suhu pemanasan yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 90°C - 100°C dan larutan asam. Larutan asam berfungsi dalam menghidrolisis protopektin menjadi pektin [9]. Umumnya proses ekstraksi pektin berlangsung pada suhu antara 50°C - 90°C selama 30 menit hingga 24 jam. Durasi yang panjang, pH rendah, dan suhu tinggi memungkinkan hasil pektin yang tinggi tetapi kualitasnya dapat terpengaruh.

Kinetika reaksi merupakan ilmu yang mempelajari mengenai laju suatu reaksi kimia yang dapat berlangsung. Laju perubahan ini dapat ditinjau dari reaktan yang bereaksi atau produk yang terbentuk [10]. Pektin dapat diperoleh dari bahan baku yang digunakan selama proses ekstraksi berlangsung, namun apabila proses ekstraksi terus berlanjut maka pektin dapat terdegradasi menjadi asam pektat. Ekstraksi dan degradasi senyawa pektin memiliki kinetika reaksi yang menunjukkan perubahan reaktan menjadi produk yang terbentuk.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai studi kinetika ekstraksi pektin, antara lain penelitian oleh Ouiza Sebaoui dkk tahun 2016 dengan hasil penelitian  $k_1$  (kekstraksi) yang diperoleh adalah  $3.184 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$  hingga  $5.384 \times$

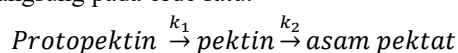
$10^{-2} \text{ min}^{-1}$  dan  $k_2$  ( $k_{\text{degradasi}}$ ) yang diperoleh adalah  $2.152 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$  hingga  $0.463 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$  serta energi aktivasi yang diperoleh pada pH optimum sebesar  $9.41 \text{ kJ/mol}$ , penelitian oleh Sergio Valdivia-Rivera dkk tahun 2021 dengan hasil penelitian pada suhu  $60 - 90^\circ\text{C}$   $k_1$  yang diperoleh adalah  $0,02958 \text{ min}^{-1}$  hingga  $0,03635 \text{ min}^{-1}$  dan  $k_2$  yang diperoleh adalah bervariasi sedangkan energi aktivasi sebesar  $5,53 \text{ kJ/mol}$ , penelitian oleh Gu Yanbo dan Jiang Bing tahun 2020 dengan hasil penelitian pada suhu  $70 - 90^\circ\text{C}$  nilai  $k_1$  yang dihasilkan adalah  $1,48 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$  hingga  $2,55 \times 10^{-4}$  sedangkan nilai  $k_2$  yang dihasilkan menurun dari  $8,79 \times 10^{-5} \text{ min}^{-1}$  hingga  $4,03 \times 10^{-5} \text{ min}^{-1}$ . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinetika ekstraksi pektin kulit pisang kepok meliputi konstanta laju reaksi dan energi aktivasi dengan variasi waktu ekstraksi.

## MATERIAL DAN METODE

Penelitian ini menggunakan dan mengolah data sekunder. Data sekunder diperoleh dari jurnal penelitian dengan judul Ekstraksi Pektin dari Kulit Buah Pisang Kepok (*Musa paradisiaca*) oleh Farida Hanum, Martha Angelina Tarigan, Irza Menka Deviliany Kaban pada tahun 2012 [14]. Kondisi ekstraksi berdasarkan data sekunder yang digunakan adalah sebagai berikut, Sampel digunakan adalah kulit pisang kepok, pelarut asam klorida (HCl), massa awal sampel sebesar 10 gram, kadar air awal sampel sebesar 10%, Suhu pengeringan endapan pektin  $40^\circ\text{C}$ , Waktu pengeringan endapan pektin 8 jam, Suhu ekstraksi  $80^\circ\text{C}$  dan  $90^\circ\text{C}$ , Waktu ekstraksi 80, 90 dan 100 menit, pH pelarut asam klorida sebesar 1;1,5; dan 2.

### Penentuan Konstanta Laju Reaksi

Konstanta laju reaksi dapat diperoleh dengan mengolah data sekunder menggunakan *software* pengolahan data. Data yang dibutuhkan untuk diolah adalah waktu dan yield pektin. Persamaan reaksi pada ekstraksi pektin diawali dengan penurunan persamaan diferensial orde satu. Persamaan tersebut ditunjukkan oleh persamaan 1, 2, dan 3 dimana pada persamaan tersebut menunjukkan reaksi yang berlangsung pada orde satu.



$$r Yp_{(t)} = \frac{dYp_{(t)}}{dt} = -k_1 Yp_{(t)} \quad (1)$$

$$r Ye_{(t)} = \frac{dYe_{(t)}}{dt} = k_1 Yp_{(t)} - k_2 Ye_{(t)} \quad (2)$$

$$r Yd_{(t)} = \frac{dYd_{(t)}}{dt} = k_2 Ye_{(t)} \quad (3)$$

Keterangan :

$Yp_{(t)}$  = Jumlah protopektin atau pektin yang belum

larut dalam larutan asam (pelarut)

$Ye_{(t)}$  = Jumlah pektin yang telah larut dalam larutan asam (pelarut)

$Yd_{(t)}$  = Jumlah asam pektat yang terbentuk

$Yp_{(t)}$ ,  $Ye_{(t)}$ , dan  $Yd_{(t)}$  didapatkan melalui penyelesaian sistematis menggunakan metode integral,

$$Yp_{(t)} = A_0 e^{-k_1 t} \quad (4)$$

$$Ye_{(t)} = \frac{k_1 A_0}{(k_2 - k_1)} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \quad (5)$$

$$Yd_{(t)} = A_0 \left( 1 + \frac{k_2}{(k_1 - k_2)} e^{-k_1 t} + \frac{k_1}{(k_2 - k_1)} e^{-k_2 t} \right) \quad (6)$$

Produk yang diinginkan adalah  $Ye_{(t)}$  maka reaksi harus dihentikan tepat saat  $Ye_{(t)}$  pada kondisi maksimum. Waktu saat  $Ye_{(t)}$  maksimum ( $Ye_{\text{max}}$ ) disebut dengan  $t_{\text{max}}$ .

$$Ye_{\text{max}} = A_0 \exp \left( -k_2 \frac{\ln \frac{k_2}{k_1}}{(k_2 - k_1)} \right) \quad (7)$$

$$t_{\text{max}} = \frac{\ln \frac{k_2}{k_1}}{(k_2 - k_1)} \quad (8)$$

Nilai yield pektin dan waktu pada data sekunder, persamaan 5,7, dan 8 serta *syntax* diinputkan pada program *matlab*. Kemudian dilakukan penginputan nilai  $k_1$  (konstanta ekstraksi),  $k_2$  (konstanta degradasi), dan  $A_0$  trial agar program dapat *dirunning*. Nilai  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $t_{\text{max}}$ ,  $Ye_{\text{max}}$ , dan SSE didapatkan setelah *running* program *matlab*. Nilai  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $t_{\text{max}}$ ,  $Ye_{\text{max}}$ , dan SSE dikatakan sesuai apabila nilai  $k_1 \neq k_2$ ,  $k_1 > k_2$ ,  $t_{\text{max}}$  berada dalam rentang waktu ekstraksi data sekunder,  $0 < Ye_{\text{max}} < 1$ , SSE paling mendekati 0. Apabila belum sesuai, maka dilakukan pengulangan dengan menambahkan *syntax* menggunakan *constrain t* (waktu).

### Penentuan Konstanta Laju Reaksi

Perhitungan energi aktivasi dimulai dari penginputan data berupa konstanta laju reaksi, suhu ekstraksi, dan tetapan gas ideal. Kemudian dilakukannya perhitungan dengan metode eliminasi menggunakan persamaan Arrhenius. Terdapat nilai  $Ea_1$  (energi aktivasi ekstraksi) dan  $Ea_2$  (energi aktivasi degradasi). Persamaan 9 adalah bentuk persamaan Arrhenius.

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{RT} \quad (9)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konstanta Ekstraksi dan Degradasi

Konstanta laju reaksi pada proses ekstraksi yaitu perubahan protopektin menjadi pektin ditunjukkan

dengan  $k_1$ , sedangkan  $k_2$  menunjukkan konstanta laju reaksi pada proses degradasi yaitu perubahan pektin menjadi asam pektat. Terdapat nilai  $k_1$  dan  $k_2$  dikarenakan terdapat peningkatan dan juga penurunan yield pektin yang dihasilkan selama proses ekstraksi berlangsung. Berdasarkan **Tabel 2**, pada semua variabel baik pH 1; 1,5; maupun 2 menunjukkan nilai konstanta degradasi ( $k_2$ ) lebih kecil dibandingkan dengan nilai konstanta ekstraksi ( $k_1$ ), yang mana membuktikan bahwa terjadi proses degradasi pektin namun tidak lebih cepat apabila dibandingkan dengan proses ekstraksinya.

Konstanta ekstraksi ( $k_1$ ) pada suhu 80°C memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan pada suhu 90°C. Setiap variabel pH yakni 1; 1,5 dan 2 menunjukkan nilai konstanta ekstraksi ( $k_1$ ) lebih besar pada suhu yang lebih tinggi. Apabila suhu reaksi semakin tinggi, maka konstanta laju reaksinya akan semakin cepat [15]. Meskipun suhu ekstraksi meningkat dari 80°C ke 90°C hal ini tidak meningkatkan nilai  $k_2$  yang dihasilkan karena suhu tersebut masih dalam rentang suhu ekstraksi pektin sehingga suhu ekstraksi yang digunakan tidak menjadi faktor utama laju degradasi yang terjadi. Suhu ekstraksi pektin berkisar antara 60°C - 90°C [16].

Nilai  $k_1$  tertinggi terdapat dalam variabel pH 1

pH	Suhu (°C)	Waktu (menit)	$Y_{e_{teoritis}}$ (%)	$Y_{e_{eksperimen}}$ (%)
1,5	80	70	34,33	20
		80	34,93	46,8
		90	34,97	32,9
		100	34,59	25
90	70	70	41,53	40
		80	41,88	52,1
		90	41,58	37,7
		100	40,78	19

suhu 90°C sedangkan yang terendah terdapat pada variabel pH 1,5 suhu 80°C yang menandakan laju ekstraksi tercepat berlangsung pada pH 1 suhu 90°C dan laju ekstraksi terlambat berlangsung pada pH 1,5 suhu 80°C. Laju degradasi senyawa pektin tercepat terjadi pada pH 1,5 suhu 80°C, sedangkan laju degradasi terendahnya pada pH 1 suhu 90°C karena nilai  $k_2$  tertinggi terdapat dalam pH 1,5 suhu 80°C, sedangkan yang terendah terdapat dalam pH 1 suhu 90°C. Nilai  $k_1$  yang besar dan nilai  $k_2$  yang kecil merupakan hal yang dibutuhkan selama proses ekstraksi pektin untuk mendapatkan yield pektin yang tinggi [16].

**Tabel 2.** Data Konstanta Laju Reaksi Ekstraksi Pektin

Variabel	Konstanta Laju Reaksi			
	pH	Suhu (°C)	$k_1$ (menit <sup>-1</sup> )	$k_2$ (menit <sup>-1</sup> )
1		80	0,0131	0,0100
		90	0,0272	0,0052
1,5		80	0,0121	0,0112
		90	0,0143	0,0108
2		80	0,0128	0,0096
		90	0,0192	0,0068

Validasi terhadap konstanta laju ekstraksi ( $k_1$ ) dan konstanta laju degradasi ( $k_2$ ) dapat ditunjukkan melalui perhitungan SSE (*Sum of Squared Errors*) (persamaan 10). SSE atau nilai eror berfungsi untuk menghitung kesesuaian model yang digunakan. Semakin kecil nilai SSE maka perhitungan kinetika semakin baik [17]. Hasil nilai SSE ditunjukkan pada **Tabel 3**.

$$SSE = \sum (Y_{e_{(teoritis)}} - Y_{e_{(data)}})^2 \quad (10)$$

**Tabel 3.** Hasil nilai *Sum of Squared Error*

pH	Suhu (°C)	SSE (Nilai Error)
1	80	0,0188
	90	0,0322
1,5	80	0,0487
	90	0,0652
2	80	0,0400
	90	0,0717

#### Penentuan $Y_{e_{max}}$ dan $t_{max}$

Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  yang telah diperoleh dapat digunakan untuk menghitung  $t_{max}$  dan  $Y_{e_{max}}$  menggunakan persamaan 7 dan 8.  $t_{max}$  adalah waktu optimum yang dibutuhkan untuk mendapatkan jumlah yield terbanyak.  $Y_{e_{max}}$  adalah jumlah yield terbanyak yang bisa didapatkan pada waktu paling optimum.  $Y_{e_{max}}$  dan  $t_{max}$  yang diperoleh dari hasil perhitungan dapat digunakan untuk mengetahui kondisi operasi ekstraksi yang memungkinkan menghasilkan yield tertinggi dengan waktu tersingkat. **Tabel 4** menunjukkan data hasil ekstraksi maksimal dan waktu ekstraksi.

**Tabel 4.** Data Hasil Ekstraksi Maksimal dan Waktu Ekstraksi

Hasil ekstraksi pektin tertinggi berdasarkan perhitungan dicapai dengan nilai 0,4188 atau 41,88% dengan waktu 80,00 menit pada variabel pH 1,5 suhu 90°C. Nilai  $Y_{e_{max}}$  terendah terdapat pada pH 2 suhu 80°C yaitu sebesar 0,3152 atau 31,52%

dengan waktu 89,99 menit. Pada pH 1,5 dan pH 2,  $Y_{e_{max}}$  suhu 90°C lebih tinggi dibandingkan suhu 80°C karena suhu ekstraksi yang tinggi akan meningkatkan kelarutan suatu solute yang diekstraksi bersamaan dengan laju difusi yang meningkat [1]. Namun, terjadi penyimpangan pada  $Y_{e_{max}}$  pH 1 yang mana lebih tinggi pada suhu 80°C daripada 90°C. Penyimpangan ini dapat terjadi karena pH 1 merupakan kondisi ekstraksi dengan tingkat keasaman yang tinggi, apabila suhu yang digunakan juga tinggi dapat membuat senyawa pektin mudah rusak sehingga yield maksimum yang didapatkan menjadi rendah [18].

$t_{max}$  tercepat ditunjukkan pada variasi pH 1 suhu 90°C yaitu 75 menit sedangkan  $t_{max}$  terlama ditunjukkan pada variasi pH 2 suhu 80°C yaitu 89,99 menit.  $t_{max}$  dapat bervariasi karena waktu yang dibutuhkan untuk mencapai yield optimum berbeda-beda bergantung pada kondisi operasi ekstraksi seperti pH dan suhu yang digunakan. Hal yang diinginkan adalah  $t_{max}$  tercepat dengan  $Y_{e_{max}}$  tertinggi karena dalam waktu yang singkat bisa mendapatkan jumlah pektin yang banyak. Kondisi ini ditunjukkan oleh pH 1,5 suhu 90°C yaitu dengan  $t_{max}$  80,00 menit dapat memperoleh yield sebanyak 0,4188 atau 41,88%.

#### Penentuan $Y_{e_{teoritis}}$

Berdasarkan penurunan persamaan diferensial pada persamaan 2, 3, dan 4 maka didapatkan persamaan 7 yang dapat digunakan untuk menghitung yield pektin secara teori ( $Y_{e_{teoritis}}$ ). Kondisi yang menghasilkan yield pektin tertinggi terdapat pada pH 1,5 sehingga kemudian dihitung Yield teoritisnya menggunakan persamaan 7.

Berdasarkan **Tabel 5**, yield pektin perhitungan ( $Y_{e_{teoritis}}$ ) di setiap variabel akan terus meningkat dari waktu ekstraksi 70 hingga 90 menit tetapi terjadi penurunan yield pada waktu 100 menit. Sedangkan pada yield hasil eksperimen ( $Y_{e_{eksperimen}}$ ), peningkatan yield hanya berlangsung pada waktu 70 hingga 80 menit kemudian pada waktu 90 dan 100 menit terjadi penurunan yield pektin. Peningkatan waktu ekstraksi akan membuat pelarut semakin lama berkontak dengan bahan sehingga jumlah pektin yang dihasilkan juga meningkat pula. Namun, apabila waktu ekstraksi terlalu lama maka pektin dapat terhidrolisis lebih lanjut atau berubah menjadi asam pektat. Pelarut juga memiliki batas kemampuan untuk mengekstraksi suatu senyawa, sehingga jika telah lewat titik maksimalnya maka

waktu ekstraksi yang terus meningkat tidak akan meningkatkan pektin yang dihasilkan [19].

**Tabel 5.**  $Y_{e_{teoritis}}$ ,  $Y_{e_{eksperimen}}$  pada pH 1,5

pH	Suhu (°C)	$Y_{e_{max}}$ (%)	$t_{max}$ (menit)
1	80	41,41	87
	90	33,75	75,00
1,5	80	35,01	85,88
	90	41,88	80,00
2	80	31,52	89,99
	90	32,84	83,98

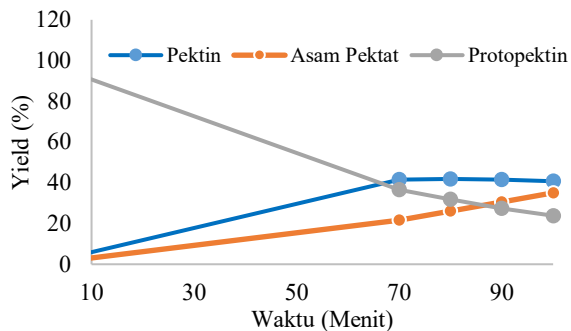
Perbedaan antara  $Y_{e_{teoritis}}$  dan  $Y_{e_{eksperimen}}$  disebabkan karena  $Y_{e_{teoritis}}$  didapatkan berdasarkan penurunan persamaan yang mana dipengaruhi oleh hasil perhitungan konstanta ekstraksi ( $k_1$ ) dan konstanta degradasi ( $k_2$ ), sedangkan  $Y_{e_{eksperimen}}$  yang merupakan data sekunder didapatkan berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium sehingga memungkinkan adanya perbedaan yang dihasilkan. SSE dapat digunakan apabila kumpulan data memiliki elemen data lebih dari satu [20]. Perhitungan nilai error dengan SSE didukung apabila persamaan garis bukan merupakan garis linear. Persamaan atau model yang dihasilkan diinginkan menghasilkan satu hasil akhir sehingga salah satu caranya adalah dengan melakukan validasi. Perhitungan nilai SSE pada **Tabel 2** dapat membuktikannya [21]

**Gambar 1** merupakan profil perubahan senyawa protopektin, pektin, dan asam pektat per satuan waktu pada pH 1,5 suhu 90°C. Seiring berjalannya waktu protopektin yang terdapat dalam sampel yang akan diekstraksi menurun dan berubah menjadi pektin. Senyawa pektin hasil dari hidrolisis senyawa protopektin akan meningkat dengan seiringnya waktu ekstraksi namun peningkatan senyawa pektin berjalan secara simultan dengan adanya senyawa asam pektat.

Senyawa pektin akan menurun dikarenakan perubahan asam pektat yang terlampaui besar [11]. Jumlah asam pektat meningkat seiring bertambahnya waktu ekstraksi. Senyawa pektin tidak turun secara signifikan karena perhitungan teoritis merupakan keadaan ideal.

Berdasarkan **Gambar 1** menunjukkan bahwa degradasi pektin terjadi disetiap waktu ekstraksi dimana jumlah asam pektat yang terus meningkat seiring bertambahnya waktu ekstraksi. Asam pektat ini berasal dari degradasi senyawa pektin. Meskipun degradasi pektin terjadi selama ekstraksi berlangsung namun pada waktu tertentu, degradasi ini akan menyebabkan berkurangnya yield pektin.

Tepat sebelum degradasi yang menyebabkan yield pektin berkurang, yield pektin yang didapatkan merupakan nilai tertinggi selama proses ekstraksi.



**Gambar 1.** Perubahan pektin terdegradasi terhadap waktu pH 1,5 90°C

### Energi Aktivasi pada Ekstraksi Pektin Kulit Buah Pisang Kepok

Energi aktivasi adalah energi minimum terjadinya reaksi kimia, apabila suatu reaksi melewati energi aktivasinya maka reaksi kimia tersebut bisa berlangsung [22]. Nilai dari konstanta ekstraksi ( $k_1$ ) dan konstanta degradasi ( $k_2$ ) yang telah diperoleh diolah menggunakan persamaan Arrhenius. Terdapat dua energi aktivasi dalam penelitian ini, yaitu  $E_{a1}$  dan  $E_{a2}$ .  $E_{a1}$  adalah energi aktivasi pada proses ekstraksi atau perubahan senyawa protopektin menjadi pektin, sedangkan  $E_{a2}$  adalah energi aktivasi pada proses degradasi atau perubahan senyawa pektin menjadi asam pektat.

Energi aktivasi ekstraksi ( $E_{a1}$ ) tertinggi terdapat pada pH 1 yaitu sebesar 77,900 kJ/mol, diikuti oleh pH 2 sebesar 43,232 kJ/mol, baru kemudian pH 1,5 sebesar 17,812 kJ/mol. Energi aktivasi degradasi ( $E_{a2}$ ) tertinggi terdapat pada pH 1,5 sebesar -3,878 kJ/mol, kemudian pada pH 2 sebesar -36,768 kJ/mol, dan yang terkecil pada pH 1 sebesar -69,724 kJ/mol. Semakin besar nilai  $E_a$  maka semakin banyak energi yang dibutuhkan untuk melangsungkan reaksi tersebut, sebaliknya semakin kecil nilai  $E_a$  maka semakin mudah reaksi kimia berlangsung karena tidak membutuhkan energi yang banyak.

Energi aktivasi degradasi ( $E_{a2}$ ) memiliki nilai negatif dan lebih rendah dibandingkan energi aktivasi ekstraksi ( $E_{a1}$ ), yang mana menunjukkan bahwa akan selalu ada proses degradasi pektin selama proses ekstraksi berlangsung. Energi aktivasi negatif menunjukkan bahwa laju reaksi yang menurun seiring terjadinya peningkatan suhu serta menandakan bahwa reaksi ini merupakan reaksi tak berhalangan [8]. Nilai  $E_{a2}$  yang lebih rendah

dibandingkan nilai  $E_{a1}$  mengindikasikan bahwa tidak mungkin mengekstrak pektin tanpa terjadi degradasi [13].

Kondisi terbaik adalah yang memiliki nilai  $E_{a1}$  rendah tetapi nilai  $E_{a2}$  yang tinggi agar proses ekstraksi perubahan protopektin menjadi pektin mudah tercapai sedangkan proses lanjutan degradasi senyawa pektin menjadi asam pektat susah terjadi. Kondisi ini ditunjukkan pada pH 1,5 dimana  $E_{a1}$  memiliki nilai paling kecil sedangkan  $E_{a2}$  bernilai tinggi.

### KESIMPULAN

Nilai  $k_1$  yang diperoleh antara 0,0121  $\text{menit}^{-1}$  pada pH 1,5 suhu 80°C hingga 0,0272  $\text{menit}^{-1}$  pada pH 1 suhu 90°C dan nilai  $k_2$  antara 0,0052  $\text{menit}^{-1}$  pada pH 1 suhu 90°C hingga 0,0112  $\text{menit}^{-1}$  pada pH 1,5 suhu 80°C. Nilai  $E_{a1}$  terendah adalah 17,812 kJ/mol dan  $E_{a2}$  terbesar adalah -3,878 kJ/mol yang keduanya terdapat dalam pH 1,5. Berdasar nilai  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $Y_{e_{\max}}$ ,  $t_{\max}$ , dan  $E_a$ , kondisi optimum ekstraksi berada pada pH 1,5 dengan suhu 90°C selama 80 menit.

### ACKNOWLEDGMENTS

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Megawati and E. L. Machsunah, "Ekstraksi Pektin Dari Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca) Menggunakan Pelarut Hcl Sebagai Edible Film," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [2] S. Z. Aisyahlika, M. L. Firdaus, and R. Elvia, "Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintesis Reactive RED-120 Dan Reactive BLUE-198," *J. Pendidik. Dan Ilmu Kim.*, vol. 2, no. 2, pp. 148–155, 2018.
- [3] A. Budiyanto and Yulianingsih, "Pengaruh Suhu dan Waktu Ekstraksi Terhadap Karakter Pektin dari Ampas Jeruk Siam (Citrus nobilis L.)," *J. Pascapanen*, vol. 2, no. 4, pp. 37–44, 2008.
- [4] M. Zeece, *Introduction to the chemistry of food*. 2020.
- [5] N. S. Itsnani and S. B. Widjanarko, "Optimasi Proses Ekstraksi Pektin dari Kulit Dan Jerami Nangka (Artocarpus Heterophyllus) Menggunakan Kurva Respon Permukaan," *J. Pangan dan Agroindustri*, vol. 5, no. 4, 2017.
- [6] S. Roikah, W. D. P. Rengga, L. Latifah, and E. Kusumastuti, "Ekstraksi Dan Karakterisasi Pektin dari Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi,L)," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol.

- 5, no. 1, 2016.
- [7] W. Wusnah, S. Bahri, and D. Hartono, "Proses Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* B.C) secara Fermentasi," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 8, no. 1, p. 48, 2019.
- [8] V. A. Devianti, R. D. Chrisnandari, and R. Darmawan, "Pengaruh Metode Ekstraksi Terhadap Mutu Pektin Dari Kulit Pisang Raja Nangka," *J. Kim. Ris.*, vol. 4, no. 2, p. 170, 2019.
- [9] Rosida, Sudaryati, and A. M. Yahya, "Edible Film from the Pectin of Papaya Skin (The Study of Cassava Starch and Glycerol Addition)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 953, no. 1, 2018.
- [10] J. Ronggur, Padil, and Sunarno, "Kinetika Reaksi Proses Nitrasasi Limbah Pelepah Sawit," 2017.
- [11] C. L. L, O. Sebaoui, R. Moussaoui, and H. Kadi, "Kinetic Modeling of Pectin Extraction from Wasted," pp. 2329–2337, 2017.
- [12] G. Yanbo and J. Bing, "Kinetic Analysis and Optimum Design of Extracting Pectin from Pineapple Peel by Ion Exchange," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 546, no. 5, 2020.
- [13] S. Valdivia-Rivera, I.E. Herrera-Pool, T. Ayora-Talavera, M.A. Lizardi-Jiménez, U. García-Cruz, J.C. Cuevas-Bernardino, J.M. Cervantes-Uc, and N. Pacheco, "Kinetic, Thermodynamic, Physicochemical, and Economical Characterization of Pectin from *Mangifera indica* L. cv. Haden Residues," 2021.
- [14] F. Hanum, M.A. Tarigan, and I.M.K.D. Kaban, "Ekstraksi Pektin dari Kulit Buah Pisang Kepok (*Musa paradisiaca*)," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [15] O. Levenspiel, "Chemical reaction engineering," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 38, no. 11. 1999.
- [16] I. Perina, Satiruiani, F. E. Soetaredjo, and H. Hindarso, "Ekstraksi pektin dari berbagai macam kulit jeruk [Extraction of pectin from various types of orange peels]," *Widya Tek.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2007.
- [17] A. Z. W. Aryansyah, "Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan FFA ( Free Fatty Acid ) dengan Katalis Zeolit 3A," 2019.
- [18] Krisnayanti dan Syamsudin. 2013. *Pengaruh Suhu Ekstraksi Kulit Buah Papaya dengan pelarut HCL 0,1 N Pada Pembuatan Pektin.* Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [19] E. N. Zahrotun, Y. Nugraheni, and Rusdiansjah, "Pengaruh Suhu Dan Waktu Terhadap Hasil Ekstraksi Pektin Dari Kulit Buah Nanas," *Simp. Nas. RAPI XII*, 2013.
- [20] S. I. Pratiwi, T. Widiharah, and A. R. Hakim, "Analisis Klaster Metode Ward Dan Average Linkage Dengan Validasi Dunn Index Dan Koefisien Korelasi Cophenetic (Studi Kasus: Kecelakaan Lalu Lintas Berdasarkan Jenis Kendaraan Tiap Kabupaten/Kota di Jawa Tengah Tahun 2018)," *J. Gaussian*, vol. 8, no. 4, 2019.
- [21] R. J. Hyndman, A. B. Koehler, R. D. Snyder, and S. Grose, "A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods," *Int. J. Forecast.*, vol. 18, no. 3, 2002.
- [22] F. Kusnandar, "Kimia pangan komponen makro," *Dian Rakyat. Jakarta*, vol. 264. 2019.

#### AUTHOR'S DECLARATION

##### Authors' contributions and responsibilities

All authors contribute equally.

##### Funding

No funding.

##### Availability of data and materials

All data are available from the authors.

##### Competing interests

The authors declare no competing interest.

##### Additional information

No additional information from the authors