

Evaluation of Pseudo-First-Order Kinetics of Starch Acid Hydrolysis in Red Rice and White Rice

Teodora Da Silva^{1*}, Kholifatul Nisa¹, Puspita Anggraeni¹, Nurur Rifky Wibowo¹, Diyah Puspita Sari¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

Email : teodoramfb-dasilva@untagsmg.ac.id, kholifatul.nissa04@gmail.com,
puspitaanggraeni271@gmail.com, rifkywibowo01@gmail.com,
diyahpuspitasari1202@gmail.com

Received 1 April 2026 | Revised 9 April 2026 | Accepted 13 April 2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian model kinetika pseudo-ordo satu pada proses hidrolisis asam pati beras merah dan beras putih serta menentukan konstanta laju reaksi berdasarkan data konversi yang diperoleh. Proses hidrolisis dilakukan secara batch menggunakan 10 gram substrat basis kering dengan penambahan HCl 37% pada kondisi isothermal selama 50 menit. Kadar gula reduksi hasil hidrolisis dianalisis menggunakan metode Fehling dan digunakan untuk menghitung konversi reaksi. Parameter kinetika ditentukan melalui hubungan $\ln(1-X)$ terhadap waktu reaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi pati beras merah meningkat dari 12,85% menjadi 16,85%, sedangkan beras putih meningkat dari 31,05% menjadi 93,17% selama 50 menit. Analisis regresi menunjukkan hubungan linier yang kuat dengan nilai R^2 masing-masing sebesar 0,9682 dan 0,9926. Konstanta laju reaksi diperoleh sebesar 0,00093 menit⁻¹ dan 0,0445 menit⁻¹. Secara umum, perbedaan laju reaksi dipengaruhi struktur pati. Kajian kinetika ini dapat menjadi dasar optimasi proses hidrolisis biomassa menuju teknologi yang lebih berkelanjutan dan efisien energi.

Kata kunci: Hidrolisis Asam, Kinetika Pseudo-Ordo Satu, Pati beras, Biomassa Terbarukan, Rekayasa Hijau

ABSTRACT

This study aims to evaluate the suitability of the pseudo-first-order kinetic model in the acid hydrolysis process of brown rice and white rice starch and determine the reaction rate constant based on the conversion data obtained. The hydrolysis process was carried out in batches using 10 grams of dry base substrate with the addition of 37% HCl under isothermal conditions for 50 minutes. The reducing sugar content of the hydrolysis results was analyzed using the Fehling method and used to calculate the reaction conversion. Kinetic parameters were determined through the relationship of $\ln(1-X)$ to reaction time. The results showed that the conversion of brown rice starch increased from 12.85% to 16.85%, while that of white rice increased from 31.05% to 93.17% over 50 minutes. Regression analysis showed a strong linear relationship with R^2 values of 0.9682 and 0.9926, respectively. The reaction rate constants were obtained at 0.00093 min⁻¹ and 0.0445 min⁻¹. In general, differences in reaction rates are influenced by starch structure. This kinetic study can provide a basis for optimizing biomass hydrolysis processes toward more sustainable and energy-efficient technologies.

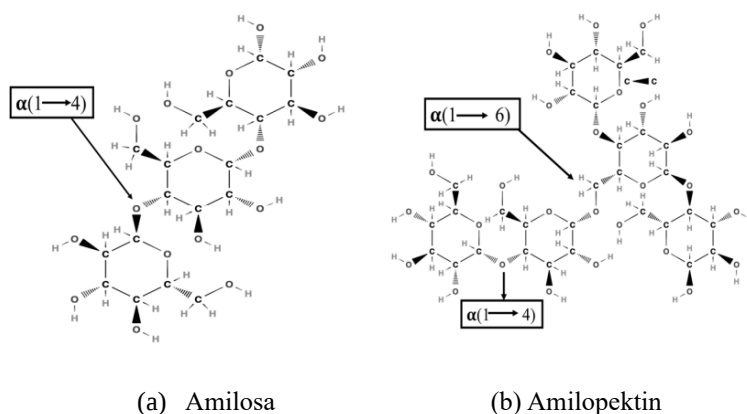
Keywords: Acid Hydrolysis, Pseudo-First-Order Kinetics, Rice Starch, Renewable Biomass, Green Engineering

1. PENDAHULUAN

Pati adalah polisakarida dominan pada tumbuhan yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin [1]. Amilosa memiliki rantai linier molekul glukosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik α -1,4, sedangkan amilopektin adalah polimer bercabang panjang yang terdiri dari monomer glukosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik α -1,4 dan α -1,6 (gambar 1) [2]. Dalam bidang industri pangan serta bioteknologi, pati umumnya diuraikan melalui proses hidrolisis menjadi gula – gula sederhana yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan dasar sirup glukosa, bioetanol, maupun berbagai produk turunannya [3], [4]. Proses pemecahan pada pati dapat dilakukan dengan metode hidrolisis asam ataupun secara enzimatik [5], [6]. Di antara keduanya, hidrolisis menggunakan asam lebih sering diterapkan karena prosedurnya relatif mudah dan biaya operasionalnya lebih rendah.

Manfaat pati adalah sebagai sumber biomassa terbarukan yang menjadi produk bernilai tambah yang memiliki kaitan erat dengan pengembangan teknologi ramah lingkungan [7]. Hidrolisis pati adalah tahapan yang penting dalam produk bioetanol, sirup glukosa, dan bioproduk berbasis biomassa yang berpotensi menggantikan bahan baku berbasis fosil [8][9]. Penggunaan beras memberikan peluang pengembangan proses yang lebih berkelanjutan karena berasal dari sumber daya yang dapat diperbarui (*renewable resources*). Selain itu, pemahaman terhadap kinetika hidrolisis sangat penting dalam perancangan proses yang lebih efisien, sehingga penggunaan energi, waktu reaksi, dan konsumsi bahan kimia dapat dioptimalkan. Dengan demikian, kajian kinetika hidrolisis pati tidak hanya relevan secara akademik, tetapi juga mendukung pengembangan proses kimia yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Hidrolisis pati didapat dari berbagai sumber seperti singkong, jagung, kentang dan talas [10]–[12]. Pada studi – studi sebelumnya hanya berfokus pada pengaruh suhu, konsentrasi asam, atau waktu reaksi terhadap peningkatan kadar gula reduksi (Rukmini & Santosa, 2019; Tambunan dkk., 2021). Akan tetapi, penelitian yang ada umumnya hanya menyajikan data berupa persentase konversi atau konsentrasi glukosa yang dihasilkan tanpa disertai kajian kinetika seperti kinetika pseudo-orde satu. Pada komoditas beras, banyak studi lebih berfokus pada aspek fisikokimia pati, seperti kadar amilosa, tingkat kristalinitas, serta karakteristik gelatinisasi [15]. Amilopektin lebih tinggi pada bahan beras putih, dengan struktur granula yang cenderung lebih amorf, sehingga lebih mudah mengalami proses gelatinisasi dan degradasi [16], [17]. Di sisi lain, beras merah lebih banyak mengandung amilosa dengan jumlah lebih besar dan struktur yang lebih rapat [18], sehingga berpotensi memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap hidrolisis asam. Walaupun demikian, penelitian yang secara khusus membandingkan parameter kinetika hidrolisis antara beras merah dan beras putih masih tergolong minim.



Gambar 1. Struktur molekuler amilosa dan amilopektin [2].

Studi sebelumnya pada komoditas beras umumnya hanya berfokus pada satu varietas tertentu dan belum mengkaji parameter kinetika hidrolisis antarvarietas. Perihal informasi pada konstanta laju reaksi pada berbagai jenis beras masih terbatas, sehingga dibutuhkan data komparatif sederhana sebagai dasar pemahaman perilaku reaksi. Terdapat keterbatasan kajian yang mengintegrasikan analisis konversi dengan pendekatan pemodelan kinetika sederhana pada hidrolisis asam pati dari varietas beras berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian model pseudo-ordo satu pada hidrolisis pati beras merah dan beras putih serta menentukan konstanta laju reaksi berdasarkan data konversi yang diperoleh. Dalam konteks rekayasa hijau, informasi mengenai parameter kinetika juga dapat digunakan sebagai dasar optimasi proses untuk meminimalkan konsumsi energi dan penggunaan katalis asam secara berlebihan pada proses konversi biomassa berbasis pati.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah beras merah dan beras putih lokal sebagai sumber pati, HCl 37% sebagai katalis hidrolisis, NaOH CAS-No: 1310-73-2 untuk proses netralisasi sampel, larutan Fehling A dan Fehling B untuk analisis gula reduksi, glukosa anhidrat sebagai larutan standar, indikator metilen blue dan akuades sebagai pelarut pada seluruh tahapan percobaan.

2.2 Persiapan Bahan Baku

Beras merah dan beras putih dibersihkan dari kotoran fisik, kemudian dikeringkan pada suhu ruang dan digiling hingga berbentuk tepung menggunakan grinder laboratorium. Tepung yang diperoleh diayak untuk memperoleh ukuran partikel yang relatif homogen. Analisis kadar air dilakukan dengan metode gravimetri menggunakan oven pada suhu 110 °C hingga berat konstan. Sekitar 5 gr sampel ditimbang dan dikeringkan selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator sebelum penimbangan ulang. Pengeringan diulang hingga selisih massa kurang dari 0,01 gr.

Kadar air dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}}{m_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana m_{awal} dan m_{akhir} masing – masing adalah massa sampel sebelum dan sesudah pengeringan (gr). Seluruh perhitungan konversi dilakukan pada basis kering.

2.3 Proses Hidrolisis Pati

Hidrolisis dilakukan dalam sistem batch menggunakan labu leher tiga yang dilengkapi pendingin balik dan *magnetic stirrer*. Massa substrat 10 gr (basis kering) direaksikan dengan 200 mL aquadest dan 20 mL HCl 37%. Reaksi dilakukan pada kondisi isothermal dengan suhu 70 °C untuk beras merah dan beras putih pada tekanan 1 atm. Campuran diaduk secara konstan untuk menjaga homogenitas sistem. Sampel cairan diambil setiap 10 menit hingga 50 menit reaksi. Sampel segera didinginkan untuk menghentikan reaksi dan dinetralkan menggunakan larutan NaOH sebelum dianalisis kadar gula reduksinya.

2.4 Penentuan Kadar Pati Terhidrolisis

Kadar gula reduksi ditentukan dengan metode titrasi Fehling menggunakan glukosa standar. Perhitungan kadar pati terhidrolisa dilakukan menggunakan persamaan :

$$X = \frac{F \times N \times B}{M \times W} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana F adalah volume glukosa standar pada standarisasi (mL), M adalah volume glukosa standar pada titrasi sampel (mL), N adalah konsentrasi glukosa standar (g/mL), B = volume suspensi (mL) dan W adalah massa substrat (gr)

2.5 Perhitungan Konversi

Konversi reaksi dihitung berdasarkan kadar pati teoritis sebagai berikut :

$$X = \frac{\text{Kadar pati terhidrolisa}}{\text{Kadar pati teoritis}} \quad (3)$$

Nilai konversi dinyatakan dalam bentuk fraksi (0-1) untuk analisa kinetika

2.6 Analisis Regresi Linier

Hubungan antara waktu dan kadar pati terhidrolisa dianalisis menggunakan persamaan regresi linier :

$$y = ax + b \quad (4)$$

Dengan :

y = kadar pati terhidrolisa atau konversi, x = waktu (menit), a = slope dan b = intercept

Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk menilai kesesuaian model.

2.7 Analisis Kinetika Reaksi

Karena konsentrasi HCl berada dalam kondisi berlebih dan relatif konstan selama reaksi, sistem diasumsikan mengikuti kinetika pseudo – ordo satu.

Persamaan diferensial kinetika orde satu :

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (5)$$

Bentuk terintegrasi :

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = kt \quad (6)$$

Dengan menggunakan konversi (X), persamaan dituliskan sebagai :

$$\ln(1 - X) = -kt \quad (7)$$

Konstanta laju reaksi (k) diperoleh dari slope grafik $\ln(1 - X)$ terhadap waktu.

2.7 Analisis Kesalahan

Presentase kesalahan dihitung menggunakan persamaan :

$$\% Error = \left| \frac{y_{eksperimen} - y_{model}}{y_{model}} \right| \times 100\% \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Awal Bahan Baku

Hasil analisis kadar air menunjukkan bahwa beras merah memiliki kadar air sebesar $\pm 11,6 \%$, sedangkan beras putih sekitar $\pm 11,4 \%$. Nilai ini berada dalam rentang kadar air normal beras komersial. Keberadaan air dalam bahan baku memengaruhi fraksi massa pati aktif yang bereaksi. Secara struktural, beras merah umumnya mengandung amilosa dalam jumlah lebih dibandingkan beras putih [19]. Kadar amilosa yang besar berkaitan dengan tingkat kristalinitas granula pati yang lebih tinggi [20], sehingga dapat meningkatkan hambatan difusi ion H^+ selama proses hidrolisis [21]. Sebaliknya, kandungan amilopektin yang lebih dominan pada beras putih menghasilkan struktur yang cenderung lebih amorf, sehingga lebih mudah mengalami pembengkakan (*swelling*) dan degradasi asam [22][23].

3.2 Kadar Pati Terhidrolisa

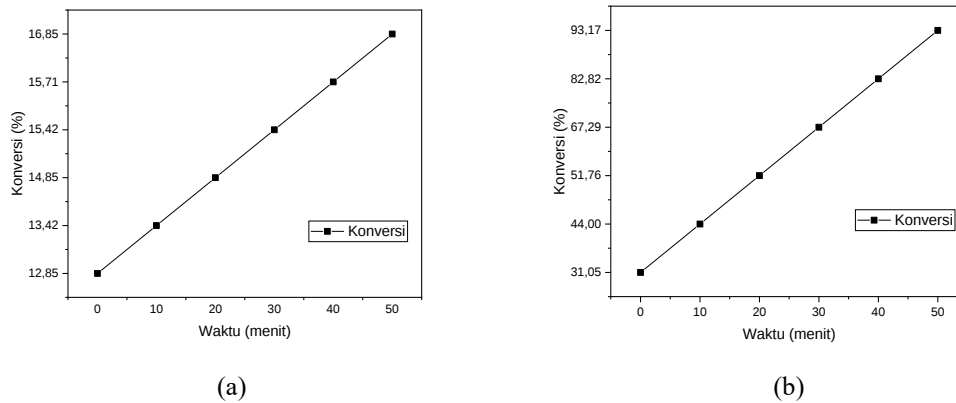
Kadar pati pada beras merah dan beras putih dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Kadar Pati Terhidrolisa pada Beras Merah dan Beras Putih

Waktu (menit)	Kadar Pati Terhidrolisa Beras Merah	Kadar Pati Terhidrolisa Beras Putih
0	9,9 %	26,4 %
10	10,3 %	37,3 %
20	11,4 %	44,0 %
30	11,8 %	57,2 %
40	12,1 %	70,4 %
50	12,9 %	79,2 %

3.3. Pengaruh Waktu terhadap Konversi Hidrolisis

Berdasarkan Gambar 2, konversi hidrolisis pati beras merah menunjukkan peningkatan bertahap selama 50 menit reaksi. Perhitungan nilai konversi kadar pati berdasarkan pada persamaan (3). Didapatkan nilai konversi awal pada menit ke-0 sebesar 12,85%, kemudian meningkat menjadi 13,42% (10 menit), 14,85% (20 menit), 15,42% (40 menit), dan mencapai 16,85% pada menit ke-50. Peningkatan konversi total selama 50 menit hanya sekitar 4,00%, yang mengindikasikan bahwa proses hidrolisis pada suhu 70 °C berlangsung relatif lambat. Pola kenaikan yang hampir linear menunjukkan bahwa degradasi struktur pati belum memasuki fase percepatan yang signifikan [16]. Kondisi ini diduga berkaitan dengan sifat granula beras merah yang lebih kristalin akibat kandungan amilosa lebih tinggi, sehingga difusi ion H^+ serta pemutusan ikatan α -1,4-glikosidik terjadi secara lebih terbatas [24]. Di sisi lain, perbedaan antara data eksperimen dan hasil regresi tergolong kecil, dengan rata-rata galat sekitar 2,18 %. Hal ini menandakan bahwa model linier cukup representatif dalam menggambarkan kecenderungan konversi pada internal waktu yang diamati. Sebaliknya, hasil konversi hidrolisis pati beras putih pada konversi awal sebesar 31,05 % pada menit ke-0, kemudian meningkat menjadi 44,00 % (10 menit), 51,76% (20 menit), 67,29% (30 menit), 82,82% (40 menit) dan mencapai 93,17% pada menit ke-50. Pada periode waktu yang sama, konversi meningkat hingga sekitar 62,12 %, menunjukkan bahwa laju hidrolisis jauh lebih tinggi dibandingkan dengan beras merah. Lonjakan konversi yang signifikan setelah menit ke – 20 menandakan bahwa pati beras putih lebih mudah mengalami proses gelatinisasi dan degradasi oleh asam [2]. Kandungan amilopektin yang dominan pada beras putih menghasilkan struktur granula yang lebih amorf, sehingga ion H^+ dapat berdifusi lebih cepat ke dalam matriks pati [25]. Nilai kesalahan rata-rata model regresi pada beras putih sebesar 2,78% menunjukkan bahwa model matematis yang digunakan cukup representatif dalam menggambarkan hubungan waktu dan konversi.



Gambar 2. Pengaruh Waktu terhadap Konversi Hidrolisa Pati Beras Merah (a) dan Hidrolisis Pati Beras Putih (b)

3.4 Analisis Regresi Hubungan Waktu terhadap Konversi

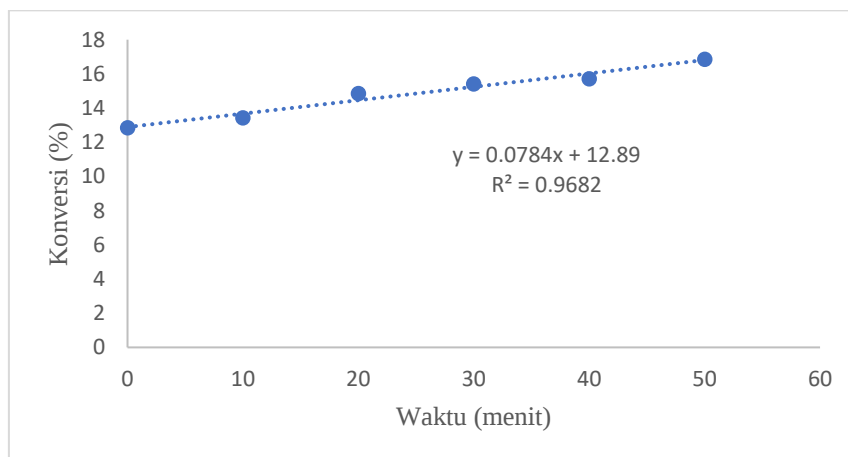
Berdasarkan hasil regresi linier menggunakan persamaan 4 pada Gambar 3 dan 4, menunjukkan hubungan antara waktu reaksi dan konversi hidrolisis menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu. Pada substrat beras merah, diperoleh persamaan regresi :

$$y = 0,00784x + 12,89$$

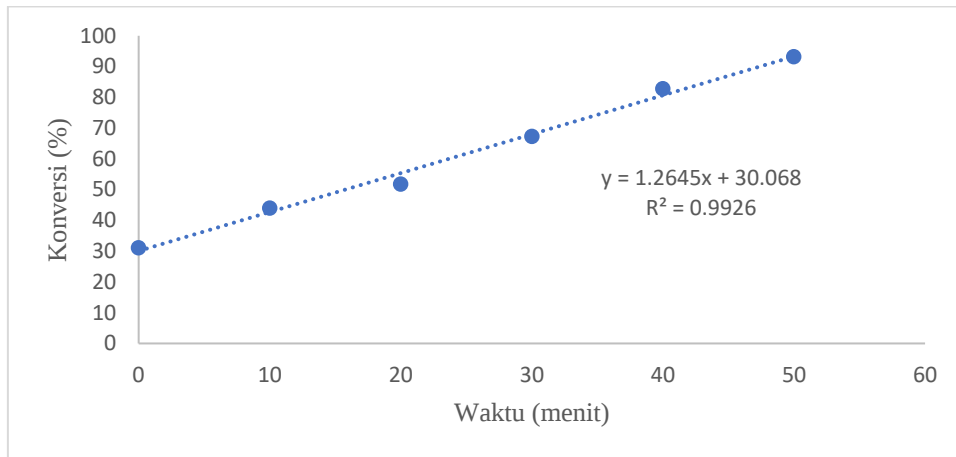
Dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9682$. Nilai *slope* sebesar 0,0784 menyatakan bahwa peningkatan konversi berlangsung relatif lambat terhadap waktu. Sementara itu, pada substrat beras putih, diperoleh persamaan regresi :

$$y = 1,2645x + 30,068$$

Dengan nilai $R^2 = 0,9926$. Nilai *slope* yang jauh lebih besar dibandingkan dengan beras merah, yaitu *slope* 1,2645, menunjukkan bahwa laju peningkatan konversi pada beras putih berlangsung lebih cepat. Perbedaan nilai *slope* antara kedua substrat mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik beras merah. Secara umum, analisis regresi ini menunjukkan bahwa waktu reaksi memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan konversi. Konsep ini memberikan gambaran awal mengenai perbedaan perilaku reaksi sebelum dilakukan analisis kinetika lebih lanjut.



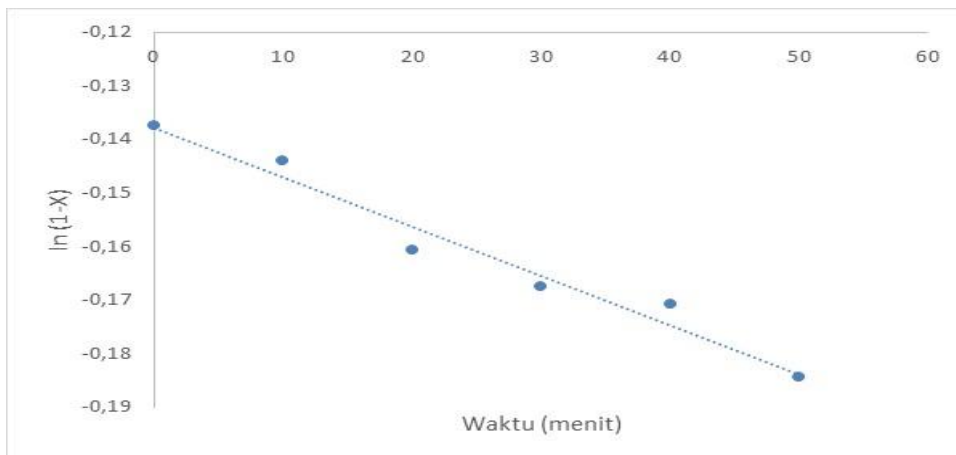
Gambar 3. Analisa Regresi pada Substrat Beras Merah



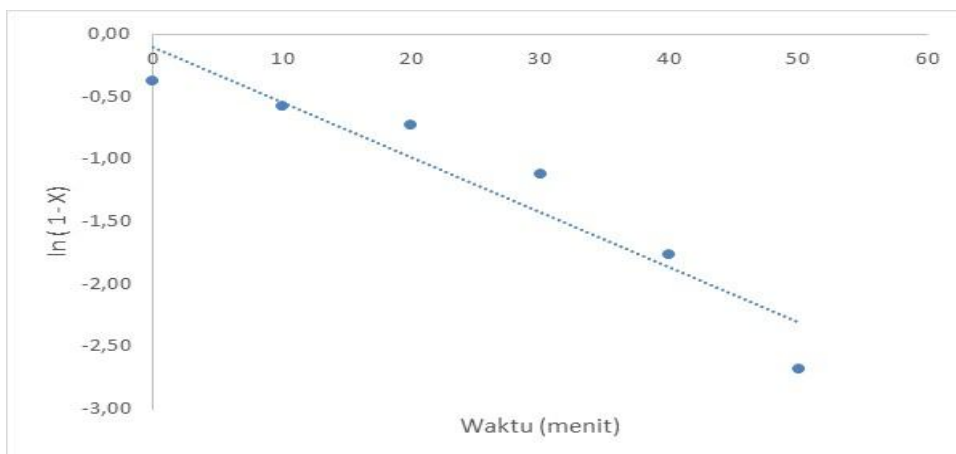
Gambar 4. Analisis Regresi pada Substrat Beras Putih

3.5 Analisa Kinetika Reaksi Pseudo Ordo Satu

Untuk memahami mekanisme reaksi hidrolisis secara lebih mendalam, dilakukan pemodelan kinetika menggunakan pendekatan pseudo – orde satu yang mana tertera pada persamaan (5), (6), dan (7). Model ini dipilih dengan asumsi bahwa konsentrasi katalis asam berada dalam kondisi berlebih sehingga relatif konstan selama reaksi berlangsung. Data konversi yang diperoleh kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk $\ln(1 - X)$ dan diplot terhadap waktu reaksi. Berdasarkan model kinetika pseudo – orde satu, hubungan antara $\ln(1 - X)$ dan waktu diharapkan menghasilkan garis lurus dengan kemiringan sebesar $-k$, yang mempresentasikan konstanta laju reaksi.



Gambar 5. Grafik Pseudo Ordo Satu pada Hidrolisis Pati Beras Merah



Gambar 6. Grafik Pseudo Ordo Satu pada Hidrolisis Pati Beras Putih

Analisis yang dilakukan pada gambar 5 dan 6 ialah memplot $\ln(1-X)$ terhadap waktu berdasarkan model pseudo – ordo satu $\ln(1-X) = -kt$. Hasil menunjukkan kedua sistem memperlihatkan kecenderungan linier, khususnya pada tahap awal reaksi. Namun, hidrolisis pati beras putih terlihat ada penyimpangan yang lebih jelas pada waktu lanjut, yaitu pada waktu 20, 30 dan 50 menit. Hal ini menandakan bahwa linearitas tidak terjaga sepanjang rentang reaksi. Nilai konstanta laju (k) yang diperoleh pada hidrolisis pati beras merah $k \approx 0,00093 \text{ menit}^{-1}$, sedangkan pada hidrolisis pati beras putih $k \approx 0,0445 \text{ menit}^{-1}$, yang mana reaksi berlangsung jauh lebih cepat. Laju ini disebabkan oleh dominasi amilopektin dan struktur granula yang terdisintegrasi setelah gelatinisasi, akibatnya akses reaktan seperti ikatan glikosidik lebih terbuka [26]. Sebaliknya, karakteristik pada beras merah memiliki lapisan aleuron atau lapisan luar beras dan protein matriks yang berperan menghambat difusi [2], sehingga laju reaksi lebih rendah dan perilaku kinetiknya relatif lebih stabil sepanjang pengamatan.

3.5 Evaluasi Kinetika pada Kondisi Isotermal

Pada tahap awal reaksi, kedua sistem menunjukkan hubungan linear yang baik pada plot kinetika, yang mana hal ini menunjukkan bahwa proses hidrolisis dikendalikan oleh kinetika kimia intrinsik (*chemical reaction control*) [27]. Substrat relatif homogen, karena adanya laju reaksi yang utamanya ditentukan oleh putusnya ikatan glikosidik dan energi aktivasi, sementara hambatan difusinya masih sangat minimal [28]. Namun, pada waktu reaksi yang lebih tinggi terutama pada hidrolisis pati beras putih terjadi deviasi dan linearitas yang mengindikasikan kemungkinan peralihan menuju *diffusion control* [29]. Peningkatan konversi menyebabkan deplesi substrat, perubahan morfologi granula, serta akumulasi produk yang meningkatkan resistensi terhadap transport massa, sehingga laju reaksi tidak lagi sepenuhnya dikendalikan oleh kinetika kimia intrinsik. Secara keseluruhan, hidrolisis pati termasuk pada kinetika heterogen yang mengikuti model pseudo-ordo satu, akan tetapi memiliki potensi transisi mekanisme seiring meningkatnya konversi. Dari sudut pandang teknologi berkelanjutan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sifat dan karakteristik bahan baku berperan penting terhadap efektivitas proses hidrolisis. Beras putih yang memiliki laju hidrolisis lebih cepat cenderung memerlukan waktu reaksi yang lebih singkat untuk mencapai konversi tinggi, sehingga kebutuhan energi selama proses pemanasan dapat diminimalkan. Selain itu, model kinetika yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai dasar optimasi kondisi operasi agar penggunaan katalis asam, durasi reaksi, dan konsumsi energi menjadi lebih efisien. Pendekatan tersebut sejalan dengan konsep rekayasa hijau yang menitikberatkan pada efisiensi pemanfaatan sumber daya serta pengembangan proses berbasis biomassa terbarukan.

3.6 Analisis Kesalahan pada Hidrolisis Pati Beras Merah dan Beras Putih

Berdasarkan Tabel 2, persentase kesalahan pada beras merah dan beras putih umumnya berada pada rentang rendah ($<7\%$). Hal ini menunjukkan bahwa data konversi yang diperoleh cukup reliabel untuk analisis kinetika. Pada beras merah, kenaikan persentase kesalahan pada menit ke-30 dan ke-50 berkaitan dengan meningkatnya konversi, di mana nilai $(1 - X)$ semakin kecil, dibuktikan dengan fluktuasi numerik. Selain itu, pada konversi tinggi terjadi perubahan mekanisme reaksi dari kontrol kinetika kimia menuju kontrol difusi karena adanya deplesi substrat dan perubahan struktur granula. Perhitungan persentase kesalahan merujuk pada persamaan (8) untuk mengetahui persentase kesalahan selama proses hidrolisis.

Tabel 2. Analisa kesalahan pada Hidrolisis Pati Beras Merah dan Beras Putih

Waktu (menit)	% Kesalahan Hidrolisis Beras	
	Merah	Putih
0	3,1 %	3,2 %
10	2,0 %	3,0 %
20	2,2 %	6,5 %
30	5,9 %	1,0 %
40	2,7 %	2,6 %
50	6,3 %	2,7 %

4. KESIMPULAN

Hidrolisis asam pati pada beras merah dan beras putih menunjukkan konversi yang berbanding lurus dengan waktu reaksi. Pada kondisi isothermal, kondisi beras merah meningkat dari 12,85% menjadi 16,85% dalam 50 menit, sedangkan beras putih meningkat dari 31,05% menjadi 93,17% pada rentang waktu yang sama. Perbedaan ini menunjukkan bahwa beras putih memiliki laju hidrolisis yang lebih tinggi dibandingkan dengan beras merah. Hasil analisis regresi linier antara waktu reaksi dan konversi menunjukkan hubungan yang kuat, dengan nilai $R^2 = 0,9682$ untuk beras merah dan $R^2 = 0,9926$ untuk beras putih. Nilai *slope* yang diperoleh masing-masing sebesar 0,0784 dan 1,2645 mengindikasikan bahwa peningkatan konversi pada beras putih berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan beras merah. Analisis kinetika menunjukkan bahwa kedua sistem secara umum mengikuti model pseudo-ordo satu dengan nilai konstanta laju reaksi sebesar $k \approx 0,00093 \text{ menit}^{-1}$ untuk beras merah dan $k \approx 0,0445 \text{ menit}^{-1}$ untuk beras putih. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik struktur pati, khususnya kandungan amilosa dan tingkat kristalinitas granula. Penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain jumlah variasi suhu terbatas serta belum dilakukannya karakterisasi struktur pati secara langsung (misalnya kadar amilosa atau analisis kristalinitas). Oleh karena itu, dibutuhkan kajian lanjutan untuk menyempurnakan hasil dari penelitian ini. Selain memberikan gambaran mengenai karakteristik kinetika pada proses hidrolisis pati, penelitian ini juga memiliki potensi dalam mendukung pengembangan teknologi konversi biomassa yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Parameter kinetika yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam mengoptimalkan kondisi operasi sehingga konsumsi energi serta penggunaan bahan kimia pada proses hidrolisis biomassa berbasis pati dapat ditekan menjadi lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Pfister, S. C. Zeeman, M. D. Rugen, R. A. Field, O. Ebenhöf, dan A. Raguin, "Theoretical And Experimental Approaches To Understand The Biosynthesis Of Starch Granules In A Physiological Context," *Photosynth. Res.*, Vol. 145, No. 1, Hal. 55–70, 2020, Doi: 10.1007/S11120-019-00704-Y.
- [2] M. A. Farooq dan J. Yu, "Starches In Rice: Effects Of Rice Variety And Processing/Cooking Methods On Their Glycemic Index," *Foods*, Vol. 14, No. 12, 2025, Doi: 10.3390/Foods14122022.
- [3] U. Kalsum dan H. Juniar, "Pembuatan Bioetanol Dari Pati Ubi Dengan Proses Hidrolisis Asam," *J. Distilasi*, Vol. 2, No. 2, Hal. 47, 2018, Doi: 10.32502/Jd.V2i2.1203.
- [4] A. Bušić Dkk., "Bioethanol Production From Renewable Raw Materials And Its Separation And Purification: A Review," *Food Technol. Biotechnol.*, Vol. 56, No. 3, Hal. 289–311, 2018, Doi: 10.17113/Ftb.56.03.18.5546.
- [5] A. Halim, P. J. Torley, A. Farahnaky, dan M. Majzoobi, "Investigating The Effects Of Acid Hydrolysis On Physicochemical Properties Of Quinoa And Faba Bean Starches As Compared To Cassava Starch," *Foods*, Vol. 13, No. 23, 2024, Doi: 10.3390/Foods13233885.
- [6] C. Cabeza, A. E. G. Ahmed, M. Minauf, K. Wieland, dan M. Harasek, "Starch Hydrolysates, Their Impurities And The Role Of Membrane-Based Technologies As A Promising Sustainable Purification Method At Industrial Scale," *Food Res. Int.*, Vol. 209, No. March, 2025, Doi: 10.1016/J.Foodres.2025.116300.
- [7] R. P. Primadanty, "Potensi Biomassa Dalam Transisi Energi Di Indonesia," Vol. 2, No. 2, Hal. 136–143,

- 2023.
- [8] E. Dwi, N. Eka, M. Panca, S. E. A, dan I. Febriana, “Analisis Waktu Hidrolisis Terhadap Kadar Glukosa Dalam Proses Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Pisang,” Vol. 8, No. 2, Hal. 64–69, 2025.
 - [9] W. Ulfa, R. Nurlaila, F. Sirait, dan L. Hakim, “Produksi Glukosa Cair Menggunakan Metode Hidrolisis Asam Klorida Dari Bahan Dasar Singkong (*Manihot Esculenta*),” *J. Teknol. Kim. Unimal*, Vol. 1, No. Mei, Hal. 49–57, 2023.
 - [10] N. Aryanti, Y. A. Kusumastuti, dan W. Rahmawati, “Pati Talas (*Colocasia Esculenta*...,” *Momentum*, Vol. 13, No. 1, Hal. 46–52, 2017.
 - [11] A. L. Salsabila dan I. Fahrurroji, “Hidrolisis Pada Sintesis Gula Berbasis Pati Jagung,” *Edufortech*, Vol. 6, No. 1, 2021, Doi: 10.17509/Edufortech.V6i1.33289.
 - [12] S. F. Pradigdo, F. Arifan, B. W, Dan S. N. Noviana, “Pemanfaatan Kulit Kentang Dalam Pembuatan Bioetanol Dengan Metode Hidrolisa Asam Di Desa Sikunang,” *J. Penelit. Terap. Kim.*, Vol. 02, No. 1, Hal. 12–20, 2021.
 - [13] M. P. M. Tambunan, Z. Ginting, R. Nurlaila, M. Muhammad, dan I. Ishak, “Pengaruh Suhu Dan Waktu Hidrolisis Terhadap Kadar Glukosa Dalam Pembuatan Sirup Glukosa Dari Biji Alpukat Dengan Metode Hidrolisis Asam,” *Chem. Eng. J. Storage*, Vol. 1, No. 3, Hal. 17–26, 2021, Doi: 10.29103/Cejs.V1i3.4798.
 - [14] P. Rukmini dan I. Santosa, “Pemanfaatan Pati Gembili (*Dioscorea Esculenta*) Menjadi Glukosa Dengan Metode Hidrolisis Asam Menggunakan Katalis Hcl,” *Konversi*, Vol. 8, No. 1, Hal. 49–58, 2019, Doi: 10.20527/K.V8i1.6514.
 - [15] A. H. Arifa, E. Syamsir, dan S. Budijanto, “Karakterisasi Fisikokimia Beras Hitam (*Oryza Sativa* L.) Dari Jawa Barat, Indonesia,” *Agritech*, Vol. 41, No. 1, Hal. 15, 2021, Doi: 10.22146/Agritech.53307.
 - [16] C. Li, W. Yu, Dan R. G. Gilbert, “The Effects Of Starch Molecular Fine Structure On Thermal And Digestion Properties Of Rice Starch,” *Foods*, Vol. 11, No. 24, Hal. 1–17, 2022, Doi: 10.3390/Foods11244012.
 - [17] X. Huang, H. Liu, Y. Ma, S. Mai, dan C. Li, “Effects Of Extrusion On Starch Molecular Degradation, Order–Disorder Structural Transition And Digestibility—A Review,” *Foods*, Vol. 11, No. 16, 2022, Doi: 10.3390/Foods11162538.
 - [18] N. Azhar, S. Jabeen, M. Aslam, dan H. Ur Rehman, “Comparative Effect Of Amylose Concentration In Brown And White Rice On Hepatocellular Insufficiency Using Rat Bioassay,” *Heal. Scope*, Vol. 12, No. 4, Hal. 0–6, 2023, Doi: 10.5812/Healthscope-134717.
 - [19] A. Zainuddin, A. I. Laboko, F. C. Asia, dan A. N. Inayah, “Karakteristik Fisikokimia Tepung Beras Premium Dan Medium Dengan Pengaplikasian Microwave,” *Gorontalo Agric. Technol. J.*, Vol. 6, No. 2, Hal. 86, 2023, Doi: 10.32662/Gatj.V0i0.3225.
 - [20] B. M. J. Martens, W. J. J. Gerrits, E. M. A. M. Bruininx, dan H. A. Schols, “Amylopectin Structure And Crystallinity Explains Variation In Digestion Kinetics Of Starches Across Botanic Sources In An In Vitro Pig Model,” *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, Vol. 9, No. 1, Hal. 1–13, 2018, Doi: 10.1186/S40104-018-0303-8.
 - [21] L. Zhang Dkk., “Structural And Functional Properties Of Porous Corn Starch Obtained By Treating Raw Starch With Amylase,” *Foods*, Vol. 12, No. 17, 2023, Doi: 10.3390/Foods12173157.
 - [22] A. R. Sari, Y. Martono, dan F. S. Rondonuwu, “Identifikasi Kualitas Beras Putih (*Oryza Sativa* L.) Berdasarkan Kandungan Amilosa Dan Amilopektin Di Pasar Tradisional Dan ‘Selepan’ Kota Salatiga,” *Titian Ilmu J. Ilm. Multi Sci.*, Vol. 12, No. 1, Hal. 24–30, 2020, Doi: 10.30599/Jti.V12i1.599.
 - [23] Susi, L. Agustina, dan C. Wibowo, “A Preliminary Study On The Rehydration Characteristics And Cooking Time Of Analog Rice From The Formulation Of Modified Nagara Bean Flour Through L. Plantarum Fermentation And Sago Starch,” *Iop Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, Vol. 255, No. 1, 2019, Doi: 10.1088/1755-1315/255/1/012013.
 - [24] S. Wattanavanitchakorn, R. Wansuksri, N. Kamonsutthipaijit, A. Ranathunga, W. Kamolsukyeunyong, Dan P. Suwannaporn, “Effect Of Granular And Molecular Structure Of Starch On Physicochemical Properties And Digestibility Of Dough- And Mature-Stage Rice,” *Food Chem. X*, Vol. 29, No. June, Hal. 102643, 2025, Doi: 10.1016/J.Fochx.2025.102643.
 - [25] J. G. Mogoginta, T. Murai, dan G. A. Annor, “Profiles Of Indonesian Rice (*Oryza Sativa*),” *Foods*, Vol. 13, No. 15, Hal. 1–14, 2024.
 - [26] Y. Gong, S. Xiao, Z. Yao, H. Deng, X. Chen, dan T. Yang, “Factors And Modification Techniques Enhancing Starch Gel Structure And Their Applications In Foods:A Review,” *Food Chem. X*, Vol. 24, No. June, Hal. 102045, 2024, Doi: 10.1016/J.Fochx.2024.102045.
 - [27] Jabosar, H. Panjaitan, D. A. Padang, A. Fatchurohman, dan F. F. Ramadhan, “Kinetika Hidrolisis Selulosa

- Bakteri Menggunakan Natrium Hidroksida (Hydrolysis Kinetics Of Bacterial Cellulose Using Sodium Hydroxide) Fermentasi Aerob . Nata Dapat Diproduksi Melalui Fermentasi Dengan Menggunakan Mikroba Produk Makanan Dengan Nama Nata,” *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil Dan Tek. Kim.*, Vol. 8, No. 1, Hal. 79–87, 2023.
- [28] Hargono, “Kinetika Hidrolisis Pati Singkong Manis (*Manihot Esculenta*) Pada Suhu Rendah,” *Inov. Tek. Kim.*, Vol. 4, No. 1, Hal. 11–15, 2019.
- [29] Y. Tian *Dkk.*, “Interfacial Catalysis During Amylolytic Degradation Of Starch Granules: Current Understanding And Kinetic Approaches,” *Molecules*, Vol. 28, No. 9, 2023, Doi: 10.3390/Molecules28093799.