



## Pengaruh Konsentrasi Asam Asetat pada Modifikasi Pati Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) melalui Hidrolisis Asam terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Gugus Fungsi FTIR

### Effect of Acetic Acid Concentration on the Physicochemical Properties and FTIR Functional Groups of Oil Palm Trunk Starch (*Elaeis guineensis* Jacq.) Modified by Acid Hydrolysis

Sri Wahyuni Nababan <sup>\*,1</sup>, Pada Mulia Raja <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI), Medan, Indonesia

\*Penulis Korespondensi

Email: [sriwahyuni160901@gmail.com](mailto:sriwahyuni160901@gmail.com)



**Abstrak.** Pati batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan sumber karbohidrat non-konvensional yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku industri pangan dan non-pangan, namun kandungan amilopektinnya yang tinggi (75–86%) membatasi kelarutan dan stabilitas termalnya. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh konsentrasi asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 1%, 3%, dan 5% terhadap kualitas pati batang kelapa sawit meliputi kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, dan analisis FTIR. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu ITSI Medan dan Universitas Negeri Medan (Maret 2025–Maret 2026) menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) nonfaktorial dengan tiga perlakuan dan tiga ulangan (9 satuan percobaan). Modifikasi dilakukan dengan menghidrolisis 20 g pati dalam 100 mL larutan asam asetat pada suhu  $40 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 40 menit, diikuti pencucian dan pengeringan pada  $50^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Data dianalisis menggunakan ANOVA satu arah dan uji Duncan 5% (SPSS v.26). Hasil menunjukkan konsentrasi asam asetat tidak berpengaruh nyata ( $p > 0,05$ ) terhadap semua parameter. Perlakuan P3 (5%) menunjukkan nilai tertinggi secara deskriptif: kadar air 7,72%, kadar amilosa 14,66%, dan kadar amilopektin 85,34%. Analisis FTIR menunjukkan pita serapan O–H ( $3,252\text{--}3,258\text{ cm}^{-1}$ ), C–H alifatik ( $2,925\text{--}2,926\text{ cm}^{-1}$ ), C–O–C ( $1,149\text{ cm}^{-1}$ ), dan C–O ( $1,076\text{ cm}^{-1}$ ) tanpa terbentuknya gugus fungsi baru. Kadar air dan amilosa memenuhi SNI 9098:2022, sedangkan kadar abu dan amilopektin masih melampaui batas standar sehingga diperlukan optimasi pemurnian lebih lanjut. Hasil penelitian ini memberikan informasi dasar mengenai karakteristik pati batang kelapa sawit yang dimodifikasi menggunakan asam asetat dan dapat menjadi acuan dalam pengembangan pati termodifikasi untuk berbagai aplikasi berbasis pati, seperti bahan baku bioplastik, bahan pengisi (filler), maupun produk pangan fungsional yang memerlukan karakteristik fisikokimia tertentu.

**Kata kunci:** asam asetat, batang kelapa sawit, hidrolisis pati, pati termodifikasi, FTIR.

**Abstract.** Oil palm trunk (*Elaeis guineensis* Jacq.) starch is a non-conventional carbohydrate source with potential for food and non-food industrial applications, but its high amylopectin content (75–86%) limits its solubility and thermal stability. This study aimed to determine the effect of acetic acid ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) concentration at 1%, 3%, and 5% on the quality of oil palm trunk starch, including moisture content, ash content, amylose content, amylopectin content, and FTIR

*analysis. The research was conducted at the Integrated Laboratory of ITS Medan and Universitas Negeri Medan (March 2025–March 2026) using a non-factorial Completely Randomized Design (CRD) with three treatments and three replications (9 experimental units). Modification was performed by hydrolyzing 20 g starch in 100 mL acetic acid solution at  $40\pm 5^\circ\text{C}$  for 40 minutes, followed by washing and drying at  $50^\circ\text{C}$  for 24 hours. Data were analyzed using one-way ANOVA and Duncan's test at 5% significance level (SPSS v.26). Results showed that acetic acid concentration had no significant effect ( $p > 0.05$ ) on all parameters. Treatment P3 (5%) showed the highest descriptive values: moisture content 7.72%, amylose content 14.66%, and amylopectin content 85.34%. FTIR analysis revealed characteristic absorption bands at O–H ( $3,252\text{--}3,258\text{ cm}^{-1}$ ), aliphatic C–H ( $2,925\text{--}2,926\text{ cm}^{-1}$ ), C–O–C ( $1,149\text{ cm}^{-1}$ ), and C–O ( $1,076\text{ cm}^{-1}$ ), with no new functional groups formed. Moisture and amylose content met the SNI 9098:2022 standard, while ash and amylopectin content still exceeded the limits, requiring further purification optimization. These findings provide fundamental information on the characteristics of acetic acid-modified oil palm trunk starch and serve as a reference for developing modified starch in various starch-based applications, such as bioplastics, fillers, and functional food products with specific physicochemical requirements.*

**Keywords:** acetic acid, oil palm trunk starch, acid hydrolysis, modified starch, FTIR.

## 1. Pendahuluan

Pati merupakan karbohidrat kompleks yang terdiri dari amilosa dan amilopektin, dan dapat ditemukan pada berbagai sumber tanaman termasuk batang kelapa sawit (Masrukan, 2020). Indonesia adalah negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia dengan luas areal perkebunan lebih dari 16 juta hektar (Statistik Perkebunan, 2022). Proses replanting tanaman kelapa sawit yang telah melewati masa produktifnya (>25 tahun) menghasilkan limbah batang dalam jumlah sangat besar yang hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal (Ilhami *et al.*, 2024).

Umbut batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) mengandung pati dengan proporsi amilosa dan amilopektin sekitar 25:75, di mana kandungan amilopektin yang tinggi (75–86%) menyebabkan keterbatasan dalam hal kelarutan dan stabilitas termal (Cahyaningtyas *et al.*, 2019). Tingginya kandungan amilopektin ini juga menjadikan pati batang kelapa sawit kurang ideal digunakan secara langsung sebagai bahan penyalut dalam proses mikroenkapsulasi, karena kelarutannya yang rendah dalam air dingin. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi pati untuk meningkatkan fungsionalitasnya (Yunita *et al.*, 2022).

Hidrolisis asam merupakan salah satu metode modifikasi pati yang banyak digunakan karena mampu mengubah struktur molekul pati, meningkatkan sifat fungsional tertentu, serta relatif mudah diterapkan pada skala laboratorium maupun industri. Modifikasi ini dapat memengaruhi berat molekul, kristalinitas, dan karakteristik reologi pati (Mohsin *et al.*, 2025; Rashwan *et al.*, 2024). Mekanisme hidrolisis pati oleh asam berlangsung melalui protonasi atom oksigen pada ikatan glikosidik yang diikuti pemutusan ikatan C–O sehingga menghasilkan fragmen rantai yang lebih pendek. Proses ini terutama terjadi pada daerah amorf granula pati dan dapat memengaruhi distribusi amilosa–amilopektin (Mohsin *et al.*, 2025; Varghese *et al.*, 2022).

Asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dipilih sebagai agen hidrolisis karena bersifat organik, lemah ( $\text{pK}_a$  4,76), aman untuk aplikasi pangan, dan telah diakui sebagai bahan *Generally Recognized as Safe* (GRAS) oleh FDA. Konsentrasi asam asetat 1%, 3%, dan 5% dipilih berdasarkan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa penggunaan asam organik encer masih mampu memodifikasi karakteristik pati tanpa menyebabkan kerusakan struktur granula secara berlebihan. Rentang konsentrasi tersebut digunakan untuk mengevaluasi respons pati batang kelapa sawit terhadap peningkatan konsentrasi asam asetat secara bertahap, sehingga dapat diketahui kecenderungan perubahan sifat fisikokimia dan struktur pati yang terjadi selama proses hidrolisis.

Dibandingkan asam kuat seperti HCl atau  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , asam asetat lebih terkontrol dan ramah lingkungan sehingga risiko degradasi pati berlebihan dapat diminimalkan (Mohsin *et al.*, 2025). Pati yang lebih kaya amilosa memiliki kemampuan membentuk gel yang kokoh dan kelarutan lebih baik, sehingga cocok sebagai matriks penyalut dalam senyawa aktif dari kelapa sawit (Luo *et al.*, 2021). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dasar dalam pengembangan lebih lanjut pati batang kelapa sawit termodifikasi untuk berbagai aplikasi berbasis pati.

Meskipun modifikasi pati batang kelapa sawit melalui hidrolisis asam telah dilaporkan sebelumnya oleh Yunita *et al.* (2022), kajian mengenai pengaruh variasi konsentrasi asam asetat terhadap karakteristik fisikokimia dan struktur molekul pati batang kelapa sawit masih terbatas. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya lebih berfokus pada proses modifikasi pati secara umum dan belum mengkaji secara komprehensif perubahan kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, serta karakteristik gugus fungsi menggunakan FTIR pada berbagai tingkat konsentrasi asam asetat.

Penelitian Yunita *et al.* (2022) telah melaporkan modifikasi pati umbut batang kelapa sawit melalui hidrolisis asam, sedangkan Khairunnisa *et al.* (2025) memanfaatkan pati sawit terhidrolisis asam sebagai bahan cangkang kapsul. Namun, informasi mengenai pengaruh variasi konsentrasi asam asetat terhadap karakteristik fisikokimia dan gugus fungsi pati batang kelapa sawit masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada evaluasi pengaruh konsentrasi asam asetat 1%, 3%, dan 5% terhadap kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, serta karakteristik FTIR pati batang kelapa sawit dan membandingkannya dengan persyaratan mutu SNI 9098:2022. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai karakteristik pati batang kelapa sawit termodifikasi dan potensi pengembangannya pada berbagai aplikasi berbasis pati. Selain itu, penelitian ini menggunakan bahan baku yang berasal dari batang kelapa sawit tua hasil peremajaan (replanting), yang masih relatif jarang dilaporkan pada penelitian modifikasi pati batang kelapa sawit sebelumnya.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh konsentrasi asam asetat 1%, 3%, dan 5% terhadap kualitas pati batang kelapa sawit meliputi kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, dan analisis FTIR, serta membandingkan hasilnya dengan standar SNI 9098:2022.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI) Medan dan Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Medan pada bulan Maret 2025 hingga Maret 2026.

### 2.2 Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah umbut batang kelapa sawit yang berasal dari tanaman kelapa sawit tua berumur lebih dari 20 tahun hasil peremajaan (replanting). Sampel diambil dari bagian tengah batang kelapa sawit karena memiliki kandungan pati yang relatif lebih tinggi dibandingkan bagian pangkal dan ujung batang. Untuk mengurangi variasi bahan baku, seluruh sampel dicacah, dicampur secara merata, dan dihomogenisasi sebelum proses ekstraksi. Pati hasil ekstraksi disimpan dalam wadah tertutup yang dilapisi aluminium foil dan ditempatkan dalam desikator hingga digunakan untuk mencegah penyerapan kelembapan dari lingkungan. Asam asetat yang digunakan merupakan asam asetat glasial dengan kemurnian  $\geq 99\%$  yang diencerkan menjadi konsentrasi perlakuan 1%, 3%, dan 5% (v/v). Bahan kimia lain yang digunakan meliputi NaOH 1 N pro analysis (PA), etanol 95%,  $\text{NaHCO}_3$  0,1 M, dan reagen  $\text{I}_2/\text{KI}$  untuk analisis amilosa. Sampel diambil secara purposive sampling dari tanaman kelapa sawit yang telah melewati masa produktif (>20 tahun). Bagian yang digunakan adalah segmen tengah batang karena memiliki kandungan pati yang relatif lebih tinggi dibandingkan bagian pangkal dan ujung batang. Untuk memperoleh sampel yang homogen, seluruh bahan dicacah, dicampur secara merata, kemudian digunakan sebagai sumber bahan baku penelitian. Analisis FTIR dilakukan menggunakan spektrometer FTIR dengan rentang bilangan gelombang 4000–400  $\text{cm}^{-1}$ , sedangkan analisis amilosa dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 620 nm.

### 2.3 Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) nonfaktorial dengan satu faktor, yaitu konsentrasi asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ): P1 (1%), P2 (3%), dan P3 (5%), masing-masing diulang tiga kali sehingga terdapat 9 satuan percobaan. Data dianalisis menggunakan ANOVA satu arah. Pati alami (P0) digunakan sebagai kontrol dan pembanding deskriptif terhadap pati termodifikasi, namun tidak dimasukkan ke dalam analisis ANOVA. Analisis statistik dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan konsentrasi asam asetat (1%, 3%, dan 5%) terhadap

karakteristik pati termodifikasi. Apabila terdapat pengaruh nyata, dilanjutkan uji Duncan pada taraf 5% dengan SPSS (Rodrigues *et al.*, 2023).

#### 2.4 Ekstraksi Pati

Umbut batang kelapa sawit dipotong kecil-kecil, dicacah, dan dihaluskan menggunakan blender dengan penambahan akuades pada perbandingan bahan dan air sebesar 1:3 (b/v). Suspensi yang diperoleh kemudian disaring menggunakan kain saring untuk memisahkan ampas dan filtrat. Filtrat selanjutnya didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang hingga pati mengendap sempurna melalui metode dekantasi. Setelah proses pengendapan, supernatan dibuang secara hati-hati, sedangkan endapan pati dikumpulkan dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50°C selama 24 jam. Pati kering kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh untuk menghasilkan pati alami (P0/kontrol).

#### 2.5 Modifikasi Pati dengan Hidrolisis Asam Asetat

Sebanyak 20 g pati kering dilarutkan dalam 100 mL larutan asam asetat sesuai konsentrasi perlakuan. Rasio pati terhadap larutan asam asetat yang digunakan adalah 1:5 (b/v). Selama proses hidrolisis, suhu dipertahankan pada 40±5°C menggunakan hotplate magnetic stirrer. pH larutan tidak dikontrol secara kontinu selama hidrolisis karena ditentukan oleh konsentrasi asam asetat yang digunakan, namun pH akhir suspensi diukur setelah proses hidrolisis selesai untuk memastikan kondisi perlakuan sesuai dengan rancangan penelitian. Campuran tersebut kemudian diinkubasi pada suhu 40±5°C selama 40 menit di atas *hotplate magnetic stirrer*. Setelah inkubasi, endapan dipisahkan melalui filtrasi, dicuci tiga kali dengan akuades dan satu kali dengan etanol 95% untuk menetralkan residu asam, kemudian dikeringkan pada 50°C selama 24 jam. Pati kering dihaluskan, diayak pada 80 mesh, dan disimpan dalam wadah berlapis aluminium foil sebelum pengujian.

Analisis kadar amilosa dilakukan menggunakan metode kompleks iodine-amilosa yang dimodifikasi. Absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 620 nm. Kadar amilosa dihitung berdasarkan kurva standar amilosa dan dinyatakan dalam persen (%).

#### 2.6 Parameter Pengamatan

Parameter yang dianalisis meliputi: (a) kadar air – metode gravimetri (oven 105°C, 1–2 jam, AOAC 2016); (b) kadar abu – pengabuan kering (furnace 600–650°C, 2 jam, AOAC 2005); (c) kadar amilosa – spektrofotometri  $\lambda$  620 nm dengan kompleks iodine dan kurva kalibrasi amilosa standar; (d) kadar amilopektin – dihitung sebagai (100% – kadar amilosa); dan (e) analisis FTIR – spektrofotometri inframerah 4,000–400 cm<sup>-1</sup> (ATR mode) untuk mengidentifikasi gugus fungsi pati sebelum dan sesudah modifikasi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Kadar Air

Rata-rata kadar air pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat disajikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Rata-rata kadar air pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat.

Perlakuan	U1 (%)	U2 (%)	U3 (%)	Rata-rata (%)
P1 (1%)	9,33	9,14	8,78	9,08tn
P2 (3%)	8,89	7,68	8,01	8,19tn
P3 (5%)	9,26	7,29	6,62	7,72tn
P0 (Kontrol)	-	-	-	12,67
SNI 9098:2022	Maks. 13%			

tn = tidak nyata berdasarkan ANOVA ( $F_{hitung} 1,825 < F_{tabel} 5\% = 5,143$ ); P0 = kontrol (tanpa perlakuan).

Berdasarkan hasil analisis pada [Tabel 1](#), nilai rata-rata kadar air pati batang kelapa sawit yang dihidrolisis dengan asam asetat menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam asetat. Pada perlakuan P1 (konsentrasi 1%) diperoleh kadar air sebesar 9,08%, kemudian pada P2 (konsentrasi 3%) sebesar 8,19%, dan pada P3 (konsentrasi 5%) sebesar 7,72%. Sedangkan kadar air pati alami (kontrol) sebesar 12,67%.

Nilai kadar air pati termodifikasi yang diperoleh pada penelitian ini masih memenuhi persyaratan mutu pati berdasarkan SNI 9098:2022. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa hidrolisis menggunakan asam organik encer cenderung menurunkan kadar air pati akibat berkurangnya kemampuan granula pati dalam mengikat air. Perbedaan nilai kadar air antar penelitian dapat dipengaruhi oleh konsentrasi asam, suhu dan lama hidrolisis, serta kondisi pengeringan yang digunakan setelah proses modifikasi.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa konsentrasi asam asetat tidak berpengaruh nyata ( $p > 0,05$ ) terhadap kadar air pati ( $F_{hitung} 1,825 < F_{tabel} 5\% = 5,143$ ). Secara deskriptif, kadar air cenderung menurun seiring meningkatnya konsentrasi asam asetat, dengan nilai terendah pada P3 (5%) sebesar 7,72% dan tertinggi pada pati kontrol (P0) sebesar 12,67%. Seluruh perlakuan memenuhi persyaratan SNI 9098:2022 yang menetapkan kadar air pati batang kelapa sawit maksimal 13%.

Penurunan kadar air akibat hidrolisis asam asetat diduga terjadi karena pemutusan sebagian ikatan hidrogen antarmolekul pada granula pati, sehingga mengurangi kapasitas pati dalam menyerap dan mengikat molekul air ([Polnaya et al., 2018](#)). Tidak adanya perbedaan nyata antar perlakuan kemungkinan disebabkan oleh rentang konsentrasi asam asetat yang digunakan (1–5%) belum cukup signifikan untuk mengubah struktur granula secara berbeda pada kondisi suhu dan waktu yang sama, yaitu  $40 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 40 menit ([Sumardiono et al., 2018](#)). Hal ini konsisten

dengan penelitian [Yunita et al. \(2022\)](#) yang melaporkan penurunan kadar air pati batang kelapa sawit setelah modifikasi asam. Hasil ini juga sejalan dengan [Khairunnisa et al. \(2025\)](#) yang menyatakan bahwa hidrolisis asam pada pati sawit tidak selalu menghasilkan perbedaan nyata pada kadar air bila konsentrasi asam yang digunakan masih dalam rentang rendah hingga sedang.

### 3.2 Kadar Abu

Rata-rata kadar abu pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat disajikan pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Rata-rata kadar abu pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat.

Perlakuan	U1 (%)	U2 (%)	U3 (%)	Rata-rata (%)
P1 (1%)	1,07	1,15	1,08	1,10tn
P2 (3%)	1,02	1,01	1,20	1,08tn
P3 (5%)	1,10	1,07	1,26	1,14tn
P0 (Kontrol)	-	-	-	1,47
SNI 9098:2022	Maks. 0,5%			

tn = tidak nyata berdasarkan ANOVA ( $F_{hitung} 0,433 < F_{tabel} 5\% = 5,143$ ); P0 = kontrol (tanpa perlakuan).

Berdasarkan [Tabel 2](#), nilai rata-rata kadar abu pati batang kelapa sawit pada perlakuan P1 (1%) adalah 1,10%, P2 (3%) adalah 1,08%, dan P3 (5%) adalah 1,14%. Kadar abu pati alami (kontrol) sebesar 1,47%. Secara deskriptif, kadar abu antar perlakuan tidak menunjukkan pola yang konsisten, dan seluruh nilai kadar abu masih lebih rendah dibandingkan kontrol.

Nilai kadar abu yang diperoleh pada penelitian ini masih berada pada kisaran yang dilaporkan oleh penelitian sebelumnya pada pati batang kelapa sawit termodifikasi. Perbedaan nilai kadar abu antar penelitian dapat dipengaruhi oleh proses pencucian, tingkat kemurnian pati, serta efektivitas pemisahan endapan selama proses ekstraksi dan modifikasi pati.

Kadar abu pati berkisar antara 1,08–1,14% dan tidak berbeda nyata antar perlakuan ( $F_{hitung} 0,433 < F_{tabel} 5\% = 5,143$ ). Seluruh nilai kadar abu, termasuk pati kontrol (1,47%), melebihi batas maksimal SNI 9098:2022 ( $\leq 0,5\%$ ). Tingginya kadar abu ini diduga berasal dari kandungan mineral intrinsik umbut batang kelapa sawit yang secara alami lebih tinggi dibandingkan sumber pati konvensional.

Kadar abu yang tinggi dapat mempengaruhi tekstur dan kualitas sensoris produk akhir yang dihasilkan dari pati tersebut ([Hasan et al., 2023](#)). Proses pencucian dengan akuades dan etanol 95% yang dilakukan dalam penelitian ini belum mampu mengeliminasi kandungan mineral secara optimal. Menurut [Rashwan et al. \(2024\)](#), kadar abu yang tinggi pada pati yang berasal dari batang tanaman berkayu umumnya disebabkan oleh akumulasi mineral seperti kalium, magnesium, dan kalsium yang terikat dalam matriks selular. Untuk mengatasi hal ini, optimasi pemurnian pati melalui penambahan tahap pemutihan atau pencucian dengan larutan basa encer perlu

dipertimbangkan pada penelitian lanjutan. Pola kadar abu antar perlakuan yang tidak konsisten (P2 terendah, P3 tertinggi) mengindikasikan tidak adanya pengaruh sistematis konsentrasi asam asetat terhadap kandungan mineral pati.

### 3.3 Kadar Amilosa

Rata-rata kadar amilosa pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat disajikan pada [Tabel 3](#).

Tabel 3. Rata-rata kadar amilosa pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat

Perlakuan	U1 (%)	U2 (%)	U3 (%)	Rata-rata (%)
P1 (1%)	13,52	15,25	14,91	14,56tn
P2 (3%)	14,37	13,45	14,64	14,15tn
P3 (5%)	14,02	14,52	15,44	14,66tn
P0 (Kontrol)	-	-	-	14,00
SNI 9098:2022	< 30%			

tn = tidak nyata berdasarkan ANOVA ( $F_{\text{hitung}} 0,371 < F_{\text{tabel}} 5\% = 5,143$ ); P0 = kontrol (tanpa perlakuan)

Berdasarkan [Tabel 3](#) nilai rata-rata kadar amilosa pada perlakuan P1 (1%) adalah 14,56%, P2 (3%) adalah 14,15%, dan P3 (5%) adalah 14,66%. Kadar amilosa pati alami (kontrol) sebesar 14,00%. Terlihat bahwa seluruh perlakuan menghasilkan kadar amilosa yang sedikit lebih tinggi dibandingkan kontrol, dengan nilai tertinggi pada perlakuan P3 (5%) sebesar 14,66%. Hal ini sejalan dengan penelitian [Khairunnisa et al. \(2025\)](#) yang melaporkan bahwa proses hidrolisis asam dapat meningkatkan karakteristik pati melalui perubahan struktur molekul.

Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian modifikasi pati yang melaporkan bahwa hidrolisis asam dapat menyebabkan pemutusan sebagian rantai amilopektin sehingga meningkatkan proporsi amilosa terukur. Namun demikian, perbedaan nilai amilosa antar penelitian dapat dipengaruhi oleh jenis pati, konsentrasi asam, suhu hidrolisis, dan lama perlakuan yang digunakan.

Tidak signifikannya peningkatan kadar amilosa menunjukkan bahwa pemutusan ikatan  $\alpha$ -(1,6) pada cabang amilopektin oleh asam asetat berlangsung terbatas pada kondisi penelitian ini ( $40 \pm 5^\circ\text{C}$ , 40 menit) [Mohsin et al. \(2025\)](#). Namun, berdasarkan hasil ANOVA, perbedaan kadar amilosa antar perlakuan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ), sehingga perubahan yang diamati hanya menunjukkan kecenderungan deskriptif dan belum dapat dinyatakan sebagai efek perlakuan yang terbukti secara statistik.

Peningkatan konsentrasi asam asetat secara teoritis meningkatkan derajat hidrolisis pada cabang amilopektin, namun efektivitasnya sangat bergantung pada kombinasi suhu, waktu reaksi, dan rasio pati-pelarut. Namun, karena tidak terdapat perbedaan nyata secara statistik ( $p > 0,05$ ), perlakuan tersebut tidak dapat dinyatakan lebih unggul secara signifikan, meskipun perbedaannya

tidak nyata secara statistik ( $p > 0,05$ ). Hal ini sejalan dengan penelitian [Khairunnisa \*et al.\* \(2025\)](#) yang melaporkan bahwa proses hidrolisis asam dapat meningkatkan karakteristik pati melalui perubahan struktur molekul. Hasil penelitian ini sejalan dengan [Foods](#) yang melaporkan bahwa modifikasi pati melalui hidrolisis asam dapat meningkatkan sifat fungsional serta mengubah karakteristik struktur pati ([Farooq & Yu, 2024](#)). Selain itu, penelitian lain pada *Environmental Chemistry Letters* juga menunjukkan bahwa perlakuan kimia pada pati mampu memengaruhi komposisi kimia dan stabilitas molekulnya ([Rashwan \*et al.\*, 2024](#)).

Namun, peningkatan yang diperoleh relatif lebih rendah dibandingkan penelitian yang menggunakan konsentrasi asam lebih tinggi, suhu hidrolisis yang lebih besar, atau waktu perlakuan yang lebih lama. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh konsentrasi asam asetat yang digunakan (1–5%), suhu hidrolisis  $40 \pm 5^\circ\text{C}$ , waktu perlakuan 40 menit, rasio pati terhadap larutan asam, serta karakteristik bahan baku yang berasal dari batang kelapa sawit tua (>20 tahun).

### 3.4 Kadar Amilopektin

Rata-rata kadar amilopektin pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat disajikan pada [Tabel 4](#).

Tabel 4. Rata-rata kadar amilopektin pati batang kelapa sawit pada berbagai konsentrasi asam asetat,

Perlakuan	U1 (%)	U2 (%)	U3 (%)	Rata-rata (%)
P1 (1%)	86,47	84,74	85,08	85,43 <sup>tn</sup>
P2 (3%)	85,62	86,55	85,35	85,84 <sup>tn</sup>
P3 (5%)	85,97	85,47	84,55	85,33 <sup>tn</sup>
P0 (Kontrol)	-	-	-	85,99
SNI 9098:2022	< 80%			

<sup>tn</sup> = tidak nyata berdasarkan ANOVA ( $F_{\text{hitung}} 0,374 < F_{\text{tabel}} 5\% = 5,143$ ); P0 = kontrol (tanpa perlakuan).

Berdasarkan [Tabel 4](#) dan [Gambar 4](#), nilai rata-rata kadar amilopektin pada P1 (1%) adalah 85,43%, P2 (3%) adalah 85,84%, dan P3 (5%) adalah 85,33%. Kadar amilopektin pati alami (kontrol) adalah 85,99%. Secara deskriptif, seluruh perlakuan hidrolisis menghasilkan kadar amilopektin yang sedikit lebih rendah dibandingkan kontrol, dengan penurunan terbesar pada P3 (5%) sebesar 85,33%.

Kadar amilopektin pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan menurun secara deskriptif setelah perlakuan hidrolisis asam asetat. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa cabang-cabang amilopektin lebih rentan mengalami pemutusan selama proses hidrolisis asam. Akan tetapi, karena tidak terdapat perbedaan nyata secara statistik ( $p > 0,05$ ), perubahan yang terjadi pada penelitian ini hanya menunjukkan kecenderungan numerik dan belum dapat dinyatakan sebagai efek perlakuan yang signifikan.

Kadar amilopektin berkisar antara 85,34–85,85% dan tidak berbeda nyata ( $F$  hitung  $0,374 < F$  tabel  $5\% = 5,143$ ). Kadar amilopektin pati batang kelapa sawit termodifikasi berkisar antara 85,34–85,85% dan tidak berbeda nyata berdasarkan hasil ANOVA ( $F$  hitung  $0,374 < F$  tabel  $5\% = 5,143$ ). Nilai tersebut masih berada dalam kisaran yang dilaporkan oleh Cahyaningtyas *et al.* (2019), yaitu sebesar 75–86% pada pati batang kelapa sawit. Secara deskriptif, kadar amilopektin menunjukkan kecenderungan menurun seiring peningkatan konsentrasi asam asetat, meskipun perbedaannya tidak signifikan secara statistik. Penurunan yang relatif kecil dibandingkan beberapa penelitian modifikasi pati lainnya diduga disebabkan oleh penggunaan konsentrasi asam asetat yang relatif rendah (1–5%), suhu hidrolisis  $40 \pm 5^\circ\text{C}$ , dan waktu perlakuan 40 menit yang belum cukup untuk menyebabkan degradasi amilopektin secara intensif. Selain itu, perbedaan sumber pati, umur tanaman, rasio pati terhadap larutan asam, serta metode modifikasi yang digunakan juga dapat memengaruhi kadar amilopektin yang dihasilkan. Tingginya kadar amilopektin pada penelitian ini menunjukkan bahwa struktur utama pati batang kelapa sawit masih didominasi oleh fraksi amilopektin sehingga perubahan yang terjadi akibat perlakuan hidrolisis masih relatif terbatas.

Seluruh nilai amilopektin melebihi batas maksimal ( $< 80\%$ ), konsisten dengan kadar amilosa yang masih relatif rendah. Tingginya amilopektin merupakan karakteristik intrinsik pati batang kelapa sawit dengan proporsi amilopektin 75–86%. Kadar amilopektin menunjukkan kecenderungan menurun seiring peningkatan konsentrasi asam asetat. Akan tetapi, hasil ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan tersebut tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ), sehingga penurunan yang diamati hanya bersifat numerik dan belum dapat dikaitkan secara langsung dengan pengaruh perlakuan.

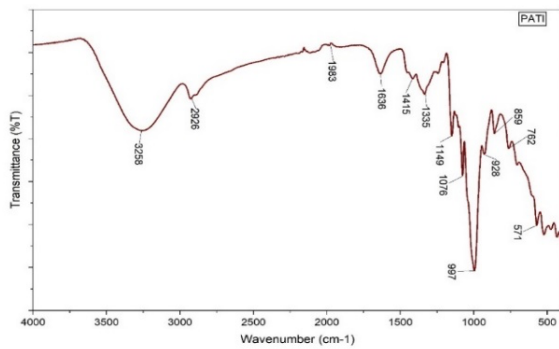
Secara deskriptif, P3 (5%) menghasilkan kadar amilopektin terendah 85,33% dibandingkan P1 (85,43%) dan P2 (85,84%), mengindikasikan potensi yang lebih besar dalam memecah cabang amilopektin pada konsentrasi asam yang lebih tinggi. Kamsiati *et al.* (2017) Kandungan amilopektin yang tinggi menghasilkan struktur bercabang yang kompleks sehingga memengaruhi sifat gelatinisasi, viskositas, stabilitas termal, dan kemampuan pembentukan film pada pati. Struktur percabangan ini berperan penting dalam menentukan karakteristik fungsional pati termodifikasi Rashwan *et al.* (2024) dan Varghese *et al.* (2022) menyebutkan bahwa kandungan amilopektin tinggi umumnya terkait dengan sifat viskoelastis pati yang sangat dipengaruhi oleh struktur percabangannya. Optimasi kondisi hidrolisis dengan peningkatan suhu reaksi atau perpanjangan waktu inkubasi berpotensi menurunkan kadar amilopektin secara lebih signifikan.

### 3.5 Analisis Gugus Fungsi (FTIR)

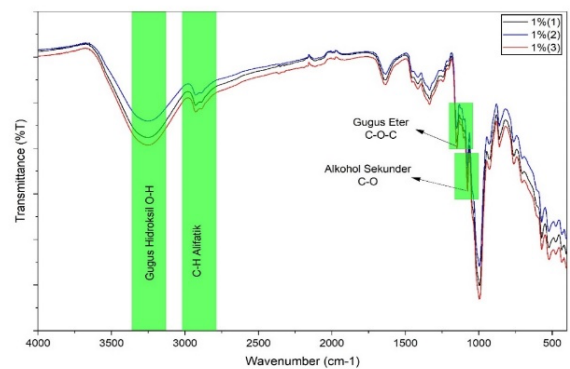
Spektrum FTIR dianalisis secara langsung berdasarkan puncak serapan yang diperoleh pada rentang bilangan gelombang  $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ .

Tabel 5. Perbandingan bilangan gelombang (cm<sup>-1</sup>) pita serapan FTIR pati batang kelapa sawit alami dan termodifikasi.

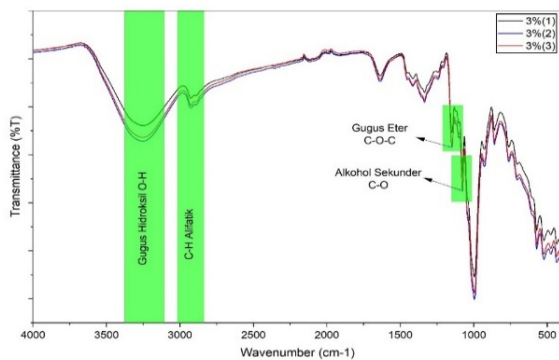
Gugus Fungsi	Rentang (cm <sup>-1</sup> )	P0 (Kontrol)	P1 (1%)	P2 (3%)	P3 (5%)
Gugus Hidroksil O-H	3,200–3,550	3,258	3,252–3,255	3,252–3,256	3,254–3,256
C-H Alifatik	2,900–2,950	2,926	2,925–2,926	2,926	2,925–2,926
Vibrasi O-H (air)	1,600–1,650	1,636	1,637	1,637	1,636–1,637
Gugus Eter C-O-C	1,100–1,200	1,149	1,149	1,149	1,149
Alkohol Sekunder C-O	1,050–1,100	1,076	1,076	1,076	1,076
Vibrasi Cincin Pati	930–1,000	997	996–997	937–997	997



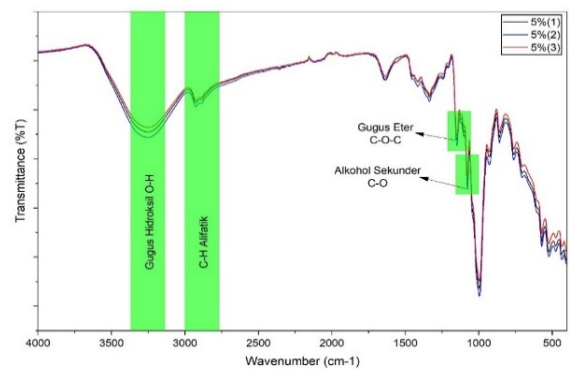
Gambar 1. Spektrum FTIR Pati Batang Kelapa Sawit Alami (kontrol).



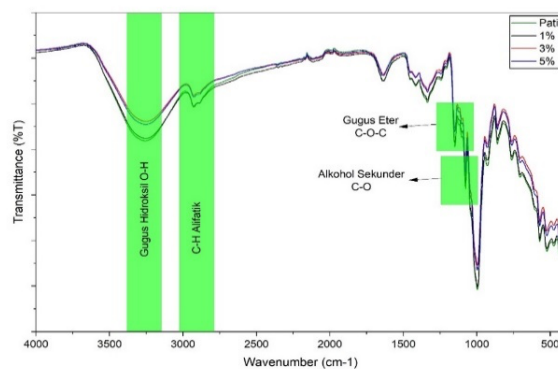
Gambar 2. Spektrum FTIR Pati Termodifikasi Asam Asetat 1%(P1).



Gambar 3. Spektrum FTIR Pati Termodifikasi Asam Asetat 3%(P2).



Gambar 4. Spektrum FTIR Pati Termodifikasi Asam Asetat 5%(P3).



Gambar 5. Perbandingan Spektrum FTIR Pati Termodifikasi Asam Asetat

Analisis spektrum FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pati sebelum dan sesudah modifikasi hidrolisis asam asetat. Perbandingan spektrum seluruh perlakuan disajikan pada [Tabel 5](#), sedangkan spektrum masing-masing perlakuan ditampilkan pada [Gambar 1–5](#). Pati alami (P0/kontrol) menunjukkan pita serapan khas polisakarida: gugus O–H lebar pada  $3,258\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur gugus hidroksil bebas sekaligus mencerminkan ikatan hidrogen intramolekul dan intermolekul, C–H alifatik pada  $2,926\text{ cm}^{-1}$  dari gugus metilen ( $-\text{CH}_2-$ ) dalam kerangka cincin glukosa piranosa, vibrasi bengkok O–H terikat air pada  $1.636\text{ cm}^{-1}$ , gugus eter C–O–C pada  $1,149\text{ cm}^{-1}$  (ikatan glikosidik  $\alpha$ -(1,4)), alkohol sekunder C–O pada  $1,076\text{ cm}^{-1}$ , dan vibrasi cincin piranosa pada  $997\text{ cm}^{-1}$  yang khas pada struktur pati ([Mohsin et al., 2025](#)). Pita O–H yang lebar mencerminkan vibrasi ulur gugus hidroksil bebas sekaligus ikatan hidrogen intramolekul dan intermolekul, sebagai karakteristik utama struktur pati.

Spektrum FTIR pati alami dan pati termodifikasi menunjukkan pola serapan yang relatif serupa, yang mengindikasikan bahwa perlakuan asam asetat pada konsentrasi yang digunakan belum menyebabkan terbentuknya gugus fungsi baru. Perbedaan karakteristik spektrum FTIR antar penelitian dapat dipengaruhi oleh konsentrasi asam, kondisi hidrolisis, sumber pati, dan tingkat degradasi struktur pati yang terjadi selama proses modifikasi.

Pati termodifikasi P1 (1%) memperlihatkan geseran kecil gugus O–H menjadi  $3,252\text{--}3,255\text{ cm}^{-1}$  dengan pita lainnya tetap konsisten. Pita serapan pada daerah  $3.252\text{--}3.258\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (O–H) yang merupakan karakteristik utama molekul pati. Pergeseran bilangan gelombang yang relatif kecil pada daerah O–H mengindikasikan bahwa proses hidrolisis menggunakan asam asetat pada konsentrasi 1–5% belum menyebabkan perubahan yang signifikan pada jaringan ikatan hidrogen antar rantai pati. Meskipun demikian, kecenderungan pergeseran pita O–H dapat menunjukkan terjadinya reorganisasi sebagian ikatan hidrogen akibat interaksi antara molekul pati dan larutan asam asetat selama proses hidrolisis. Kondisi tersebut diduga berkontribusi terhadap kecenderungan penurunan kadar air yang diamati secara deskriptif pada pati termodifikasi, karena berkurangnya sebagian situs hidrofilik yang berperan dalam pengikatan air. Namun, karena perubahan bilangan gelombang yang terjadi relatif kecil dan tidak disertai pengujian struktur yang lebih mendalam, interpretasi ini masih bersifat indikatif dan memerlukan konfirmasi melalui analisis lanjutan. mengindikasikan tidak adanya perubahan struktural fundamental pada konsentrasi terendah. Pati P2 (3%) menunjukkan pola serupa dengan O–H pada  $3,252\text{--}3,256\text{ cm}^{-1}$  dan vibrasi cincin piranosa yang tetap terdeteksi pada kisaran  $937\text{--}997\text{ cm}^{-1}$ , tanpa pergeseran bilangan gelombang signifikan dibandingkan P1, yang mengonfirmasi bahwa peningkatan konsentrasi dari 1% ke 3% tidak menghasilkan modifikasi kimia yang berbeda secara kualitatif ([Yunita et al., 2022](#)). Pati P3 (5%) memperlihatkan O–H pada  $3,254\text{--}3,256\text{ cm}^{-1}$  dengan pola cincin piranosa yang identik pada  $997\text{ cm}^{-1}$  dan konsisten di ketiga ulangan, mengindikasikan

reproducibility yang baik dari proses hidrolisis pada konsentrasi tertinggi. Pita C–O–C pada 1,149  $\text{cm}^{-1}$  dan C–O pada 1,076  $\text{cm}^{-1}$  mengonfirmasi keberadaan ikatan glikosidik  $\alpha$ -(1,4) dan gugus hidroksil bebas yang tetap terjaga pada semua perlakuan (Polnaya *et al.*, 2018 ; Varghese *et al.*, 2022).

Tidak terdeteksinya pita serapan pada 1,735–1,750  $\text{cm}^{-1}$  (gugus karbonil ester C=O) pada seluruh perlakuan mengonfirmasi bahwa asam asetat hanya berperan sebagai agen hidrolisis dan tidak membentuk ikatan ester kovalen (asetilasi) dengan pati pada kondisi penelitian ini. Mohsin *et al.* (2025) menyatakan bahwa reaksi asetilasi memerlukan kondisi lebih ketat (suhu  $>60^\circ\text{C}$  atau katalis basa). Konsistensi pola spektrum FTIR antara P0, P1, P2, dan P3 sebagaimana terlihat pada Gambar 1 mengindikasikan bahwa struktur kimia dasar pati tidak mengalami perubahan signifikan. Temuan ini sejalan dengan Yunita *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa hidrolisis asam pada pati batang kelapa sawit tidak mengubah gugus fungsi dasar pati secara fundamental, melainkan hanya memodifikasi panjang rantai dan derajat percabangan polimer pati tanpa membentuk gugus fungsi baru yang dapat terdeteksi secara spektroskopi.

Tidak ditemukannya pengaruh nyata konsentrasi asam asetat terhadap kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, dan karakteristik gugus fungsi FTIR diduga berkaitan dengan kondisi hidrolisis yang digunakan pada penelitian ini. Rentang konsentrasi asam asetat yang relatif rendah (1–5%), suhu hidrolisis sebesar  $40^\circ\text{C}$ , dan waktu perlakuan selama 40 menit kemungkinan belum cukup untuk menyebabkan degradasi struktur pati secara intensif. Akibatnya, perubahan yang terjadi pada struktur amilosa maupun amilopektin masih relatif kecil sehingga tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan secara statistik. Hasil ini menunjukkan bahwa optimasi parameter hidrolisis, seperti peningkatan konsentrasi asam, suhu, atau waktu perlakuan, perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk memperoleh tingkat modifikasi pati yang lebih tinggi.

**Tabel 6. Rekapitulasi kualitas pati batang kelapa sawit dan perbandingan dengan SNI 9098:2022.**

Parameter	P0 (Kontrol)	P1 (1%)	P2 (3%)	P3 (5%)	SNI 9098:2022	Status
Kadar Air (%)	12,67	9,08	8,19	7,72	Maks. 13,0	Memenuhi
Kadar Abu (%)	1,47	1,10	1,08	1,14	Maks. 0,5	Tidak memenuhi
Kadar Amilosa (%)	14,00	14,56	14,15	14,66	$< 30,0$	Memenuhi
Kadar Amilopektin (%)	85,99	85,43	85,84	85,33	$< 80,0$	Tidak memenuhi

P0 = kontrol (pati alami); semua nilai adalah rata-rata dari tiga ulangan.

### 3.6 Rekapitulasi Hasil

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 6, perlakuan P3 (5%) secara deskriptif merupakan perlakuan terbaik dengan kadar air 7,72%, kadar amilosa tertinggi (14,66%), dan kadar amilopektin terendah (85,33%). Kadar air dan kadar amilosa seluruh perlakuan telah memenuhi SNI 9098:2022, sedangkan kadar abu dan kadar amilopektin masih melampaui batas yang

ditetapkan. Diperlukan optimasi lebih lanjut pada tahap pemurnian pati untuk menurunkan kadar abu, serta eksplorasi peningkatan suhu dan waktu hidrolisis untuk meningkatkan proporsi amilosa secara lebih signifikan.

#### 4. Kesimpulan

Konsentrasi asam asetat 1%, 3%, dan 5% tidak berpengaruh nyata ( $p > 0,05$ ) terhadap kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, dan gugus fungsi FTIR pati batang kelapa sawit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi pati batang kelapa sawit menggunakan asam asetat pada konsentrasi 1%, 3%, dan 5% dengan suhu  $40 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 40 menit belum mampu menghasilkan perubahan fisikokimia yang signifikan. Hasil ini berbeda dengan beberapa penelitian terdahulu yang melaporkan adanya peningkatan kadar amilosa atau perubahan karakteristik pati setelah perlakuan hidrolisis asam. Perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh perbedaan konsentrasi asam, suhu, waktu hidrolisis, rasio pati-larutan, serta karakteristik bahan baku yang digunakan. Meskipun demikian, penelitian ini memberikan informasi awal mengenai respons pati batang kelapa sawit terhadap hidrolisis asam asetat pada kondisi perlakuan yang relatif ringan dan dapat menjadi dasar untuk optimasi proses modifikasi pada penelitian selanjutnya. Secara deskriptif, perlakuan P3 menunjukkan nilai kadar air terendah, kadar amilosa tertinggi, dan kadar amilopektin terendah dibandingkan perlakuan lainnya. Namun, seluruh parameter yang diamati tidak menunjukkan perbedaan nyata secara statistik ( $p > 0,05$ ). Dengan kadar air 7,72%, kadar amilosa 14,66%, dan kadar amilopektin 85,34%. Kadar air dan amilosa telah memenuhi SNI 9098:2022, sementara kadar abu dan amilopektin masih melebihi batas standar. Analisis FTIR mengonfirmasi bahwa hidrolisis asam asetat tidak mengubah struktur kimia dasar pati dan tidak membentuk gugus fungsi ester baru. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengoptimalkan pemurnian pati guna menurunkan kadar abu, serta mengeksplorasi peningkatan suhu dan waktu hidrolisis untuk meningkatkan proporsi amilosa secara signifikan agar memenuhi seluruh parameter SNI 9098:2022.

#### Singkatan yang Digunakan

FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
RAL	Rancangan Acak Lengkap
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
GRAS	<i>Generally Recognized as Safe</i>
ITSI	Institut Teknologi Sawit Indonesia
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
BPDPKS	Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit.

### Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang mendukung hasil penelitian ini tersedia berdasarkan permintaan yang ditujukan kepada penulis korespondensi.

### Kontribusi Para Penulis

**Sri Wahyuni Nababan:** Konseptualisasi, Kurasi data, Analisis formal, Investigasi, Metodologi, Penulisan – draf awal. Pada **Mulia Raja:** Pengawasan, Validasi, Sumber daya, Penulisan – tinjauan dan penyuntingan.

### Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan finansial yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi hasil penelitian dalam naskah ini.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Terpadu ITSI Medan dan Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Medan atas fasilitas yang diberikan selama penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) atas dukungan beasiswa yang memungkinkan penulis menyelesaikan studi Diploma IV.

### Daftar Pustaka

- Cahyaningtyas, A. A., Ermawati, R., Supeni, G., Syamani, F. A., Masruchin, N., Kusumaningrum, W. B., ..., & Kusumah, S. S. (2019). Modifikasi dan Karakterisasi Pati Batang Kelapa Sawit Secara Hidrolisis sebagai Bahan Baku Bioplastik. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 41(1), 37. <https://www.semanticscholar.org/paper/Modifikasi-dan-Karakterisasi-Pati-Batang-Kelapa-Cahyaningtyas-Ermawati/3090e86f39be23dffa34aa3e5c0be5e2942bd8d7>
- Farooq, M. A., & Yu, J. (2024). Recent Advances in Physical Processing Techniques to Enhance the Resistant Starch Content in Foods: A Review. *Foods* 13(17). <https://doi.org/10.3390/foods13172770>
- Hasan, S., Liputo, S. A., & Kasim, R. (2023). Karakteristik Fisikokimia Kue Biji Kacang Tanah Hasil Formulasi Tepung Terigu Dan Tepung Jagung Hibrida. *Jambura Journal of Food Technology (JJFT)*, 5(2). <https://doi.org/10.37905/jjft.v5i02.17208>
- Ilhami, A., Hidayat, T., & Riandi, D. (2024). Analisis Potensi Limbah Perkebunan Sawit dan Pemanfaatannya oleh Masyarakat Lokal : Studi Kasus di Provinsi Riau. *El-Jughrafiya*, 4(1). [https://www.researchgate.net/publication/383860661\\_Analisis\\_Potensi\\_Limbah\\_Perkebunan\\_Sawit\\_dan\\_Pemanfaatannya\\_oleh\\_Masyarakat\\_Lokal\\_Studi\\_Kasus\\_di\\_Provinsi\\_Riau](https://www.researchgate.net/publication/383860661_Analisis_Potensi_Limbah_Perkebunan_Sawit_dan_Pemanfaatannya_oleh_Masyarakat_Lokal_Studi_Kasus_di_Provinsi_Riau)
- Kamsiati, E., Herawati, H., & Purwani, E. Y. (2017). Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu Dan Ubikayu Di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 67. <https://www.neliti.com/publications/229236/potensi-pengembangan-plastik-biodegradable-berbasis-pati-sagu-dan-ubikayu-di-ind#cite>
- Khairunnisa, A., Viogenta, P., Kartinah, N., & Azzahra, D. A. (2025). The Characterization of Capsule Shell from Acid-Hydrolyzed Palm Oil Starch. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 21(1). 72. [https://www.researchgate.net/publication/390293632\\_The\\_Characterization\\_of\\_Capsule\\_Shell\\_from\\_Acid-Hydrolyzed\\_Palm\\_Oil\\_Starch](https://www.researchgate.net/publication/390293632_The_Characterization_of_Capsule_Shell_from_Acid-Hydrolyzed_Palm_Oil_Starch)

- Luo, H., Dong, F., Wang, Q., Li, Y., & Xiong, Y. (2021). Construction of Porous Starch-Based Hydrogel Via Regulating the Ratio Of Amylopectin/Amylose For Enhanced Water-Retention. *Molecules*, 26(13). <https://doi.org/10.3390/molecules26133999>
- Masrukan. M. (2020). Potensi Modifikasi Pati dengan Esterifikasi Sebagai Prebiotik. *Jurnal Agrotech*, 3(1). <https://doi.org/10.37631/agrotech.v3i1.174>
- Mohsin, M. E. A., Rahman, A. F. A., Harun, Z., Arsad, A., Mousa, S., Zaini, M. A. A., ..., & Khan, M. F. (2025). Optimization and Characterization of Acetic Acid-Hydrolyzed Cassava Starch Nanoparticles for Enhanced Oil Recovery Applications. *Polymers*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/polym17081071>
- Polnaya, F. J., Huwae, A. A., & Tetelepta, G. (2018). Karakteristik Sifat Fisiko-Kimia dan Fungsional Pati Sagu Ihur (*Metroxylon sylvestre*) Dimodifikasi dengan Hidrolisis Asam. *Agritech*, 38(1). <https://www.neliti.com/id/publications/261536/karakteristik-sifat-fisiko-kimia-dan-fungsional-pati-sagu-ihur-metroxylon-sylves>
- Rashwan, A. K., Younis, H. A., Abdelshafy, A. M., Osman, A. I., Eletmany, M. R., Hafouda, M. A., & Chen, W. (2024). Plant Starch Extraction, Modification, and Green Applications: A Review. *Environmental Chemistry Letters* 22(5). <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01753-z>
- Rodrigues, J., Piedade, S. M. D. S., Lara, I. A. R. D., & Henrique, F. H. (2023). Type I error in multiple comparison tests in analysis of variance. *Acta Scientiarum Agronomy*, 45. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.57742>
- Statistik Perkebunan. (2022). *Buku Statistik Perkebunan 2022-2024 Jilid I*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia. <https://ditjenbun.pertanian.go.id/statistik-perkebunan/>
- Sumardiono, S., Rakhmawati, R. B., & Pudjihastuti, I. (2018). Physicochemical and Rheological Properties of Sago (*MetroxylonSagu*) Starch Modified with Lactic Acid Hydrolysis and UV Rotary Drying. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 18(2). [https://www.researchgate.net/publication/333137183\\_Physicochemical\\_and\\_rheological\\_properties\\_of\\_sago\\_metroxylonsagu\\_starch\\_modified\\_with\\_lactic\\_acid\\_hydrolysis\\_and\\_UV\\_rotary\\_drying](https://www.researchgate.net/publication/333137183_Physicochemical_and_rheological_properties_of_sago_metroxylonsagu_starch_modified_with_lactic_acid_hydrolysis_and_UV_rotary_drying)
- Varghese, S., Awana, M., Mondal, D., Rubiya, M. H., Melethil, K., Singh, A., ..., & Thomas, B. (2022). Amylose–Amylopectin Ratio. *Handbook of Biopolymers*, 1–30. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-6603-2\\_48-1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6603-2_48-1)
- Yunita, I., Prendika, W., & AR, R. M. (2022). Modifikasi Pati Umbut Batang Kelapa Sawit Dengan Hidrolisis Asam. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 21(1), 37–46. <https://www.neliti.com/publications/492940/modifikasi-pati-umbut-batang-kelapa-sawit-dengan-hidrolisis-asam-modification-of>