

# Agrotek Pati

*By Nur Hayati*

---

WORD COUNT

7160

TIME SUBMITTED

30-MAR-2021 05:30PM

PAPER ID

70525347

4  
MODIFIKASI PATI SECARA ASETILASI DAN APLIKASINYA PADA PEMBENTUKAN FILM

11

Nurhayati\*

<sup>1</sup>Progran Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Mataram  
, nurhayati.faperta@ummat.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 01-07-2019

Disetujui: 11-08-2019

Kata Kunci:

Modifikasi pati  
Asetilasi  
Aplikasi film

ABSTRAK

**Abstrak:** Seiring dengan perkembangan teknologi dan metode pengolahan yang dipergunakan, pati alami dapat dimodifikasi dengan tujuan untuk memperbaiki karakteristik fisiko kimianya, sehingga dapat dimanfaatkan untuk produk lanjut. Pati termodifikasi adalah pati yang gugus hidroksilnya telah diubah lewat suatu reaksi kimia (esterifikasi, eterifikasi atau oksidasi) atau dengan mengganggu struktur asalnya. Salah satu metode modifikasi kimi pati yang umum digunakan adalah metode asetilasi yang menghasilkan pati asetat. Pati asetat merupakan hasil asetilasi pati dimana granula pati diesterkan dengan grup asetat dengan mensubstitusi gugus hidroksil pati. Pati termodifikasi secara asetilasi adalah salah satu modifikasi kimia dengan menyisipkan gugus asetil pada gugus OH pada pati melalui reaksi asetilasi. Reagen yang biasa digunakan pada metode asetilasi adalah vinil asetat, asam asetat, dan asetat anhidrat. Keunggulan sifat fisikokimia yang dimiliki oleh pati terasetilasi seperti suhu gelatinisasi, *swelling power*, *solubility*, dan tingkat kejernihan pasta (*paste clarity*) yang tinggi, serta memiliki stabilitas penyimpanan dan pemasakan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pati asalnya. Selain itu, kualitas produk yang dihasilkan dari pati terasetilasi lebih stabil dan tahan terhadap retrogradasi. Secara umum modifikasi pati secara asetilasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik yang meliputi struktur granula (bentuk dan ukuran granula), komposisi granula (Rasio Amilopektin dan Amilosa serta komposisi selain pati) sedangkan faktor ekstrinsik terdiri dari reagents (Jenis Reagen, Konsentrasi), kondisi media reaksi (suhu, pH, lama reaksi dan tekanan). Faktor – faktor tersebut akan berpengaruh terhadap derajat substitusi, % asetil, sifat – sifat fisiko kimia, morfologi dan reologi, termal serta pasting pati terasetilasi. Dalam aplikasinya berdasarkan tingkat derajat substitusi, pati asetat diklasifikasikan menjadi tiga tingkat yakni rendah, menengah, tinggi. Pati asetat dengan DS rendah (0,01-0,2) dapat berfungsi sebagai pembentuk film, pengikat, pelekat, penebal, penstabil, dan agen texturing.

**Abstract:** Along with the development of technology and processing methods used, native starch can be modified to improve its chemical, physicochemical characteristics so that it can be utilized for further products. Modified starches are starches whose hydroxyl groups have been changed by a chemical reaction (esterification, etherification, or oxidation) or by disturbing the original structure. One method of chemical starch modification commonly used is acetylation, which produces acetylated starch. Acetylated starches are produced from starch granules ethered with acetate groups by substituting starch hydroxyl groups. Chemical starch modification by acetylation with inserting an acetyl group in the OH group starch through the acetylation reaction. The reagents commonly used in the acetylation method are vinyl acetate, acetic acid, and acetic anhydrous. Acetylated starch has the physicochemical properties advantages such as gelatinization temperature, development power, *solubility*, and *paste clarity* are high. Another advantage is better storage and cooking stability when compared to native starch. In addition, the quality of the products produced from starch acetate is more stable and resistant to retrogradation. In general, starch modification by acetylation is greatly influenced by several factors, including intrinsic and extrinsic factors. Intrinsic factors include the structure of the granules (the shape and size of the granules), the composition of the granules (ratio of amylopectin and amylose, and compositions other than starch). While extrinsic factors consist

---

of reagents (reagent type, concentration), condition of the media reaction (temperature, pH, reaction time, and pressure ), these factors will affect the degree of substitution,% acetyl, physicochemical, morphological and rheological properties, thermal and pasting of acetylated starch. In its application based on the degree of substitution, acetylated starch is classified into three levels, namely low, medium, high. Acetate starch with low DS (0.01-0.2) can function as film-forming, binder, adhesive, thickener, stabilizer, and texturing agent.

---

----->-----

## A. PENDAHULUAN

Pati adalah salah satu penyusun utama bahan pangan yang paling banyak dan luas terdapat di alam. Sebagian besar pati di simpan dalam umbi (ubi kayu, ubi jalar, kentang), biji (jagung, padi, gandum), batang (sagu) dan buah. Disamping itu pati merupakan zat gizi penting dalam kehidupan sehari-hari, dimana dalam tubuh manusia kebutuhan energi hampir 80 % dipenuhi dari karbohidrat.

Pati merupakan karbohidrat yang banyak dijumpai pada tanaman yang banyak dimanfaatkan untuk produk pangan. Seiring dengan perkembangan teknologi dan metode pengolahan yang dipergunakan, pati alami dapat dimodifikasi dengan tujuan untuk memperbaiki karakteristik fisiko kimianya, sehingga dapat dimanfaatkan untuk produk lanjut. Pati termodifikasi adalah pati yang gugus hidroksilnya telah diubah lewat suatu reaksi kimia (esterifikasi, sterifikasi atau oksidasi) atau dengan mengganggu struktur asalnya. Sedangkan menurut [1] pati diberi perlakuan tertentu dengan tujuan untuk menghasilkan sifat yang lebih baik untuk memperbaiki sifat sebelumnya atau untuk merubah beberapa sifat sebelumnya atau untuk merubah beberapa sifat lainnya. Perlakuan ini dapat mencakup penggunaan panas, asam, alkali, zat pengoksidasi atau bahan kimia lainnya yang akan menghasilkan gugus kimia baru dan atau perubahan bentuk, ukuran serta struktur molekul pati.

Teknologi modifikasi pati dapat dilakukan baik secara genetik, enzimatik, fisika, kimia maupun kombinasi keduanya. Modifikasi pati secara enzimatik dilakukan dengan enzim - enzim, sedangkan secara fisik melalui beberapa cara, diantaranya yaitu pengeringan, ekstrusi, pengeringan dengan *spray*, pemanasan, pendinginan, pemasakan maupun perlakuan fisik lainnya. Selain itu, proses modifikasi pati juga dapat dilakukan secara kimia dengan cara *cross linking*, substitusi maupun kombinasi keduanya dengan menggunakan bahan kimia sebagai bahan pembantu reaksi selama proses pengolahan.

Salah satu metode modifikasi kimia pati yang umum digunakan adalah metode asetilasi yang menghasilkan pati asetat. Pati asetat merupakan hasil asetilasi pati dimana granula pati diesterkan dengan grup asetat dengan mensubstitusi gugus hidroksil pati. Untuk memproduksi pati termodifikasi secara asetilasi, perlu diperhatikan dari aspek penggunaan bahan dan metode.

## B. PEMBAHASAN

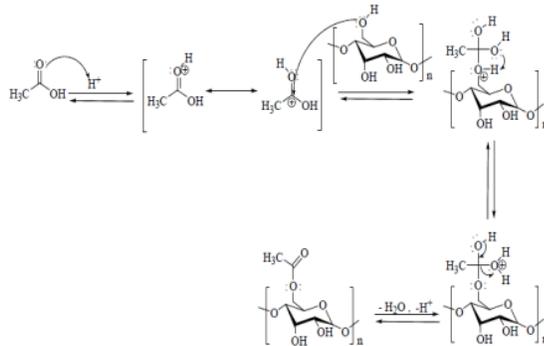
### 1. Definisi

Pati termodifikasi secara asetilasi adalah salah satu modifikasi kimia dengan menyisipkan gugus asetil pada gugus OH pada pati melalui reaksi asetilasi. Reagen yang biasa digunakan pada metode asetilasi adalah vinil asetat, asam asetat, dan asetat anhidrat. Asetilasi dapat dilakukan dengan mereaksikan suspensi pati encer dengan asetat anhidrida dalam kondisi alkali (pH 8,0-8,4) dan suhu 25°C, kondisi alkalinitas dicapai dengan menggunakan NaOH 3% [2].

### 2. Mekanisme Reaksi Asetilasi

Mekanisme pembentukan pati ester asetat yang dikatalisis dengan asam sulfat ditunjukkan pada Gambar 1. Dari gambar 1 terlihat bahwa asam asetat bereaksi dengan

gugus hidroksil pada pati dimana asam sulfat yang menyediakan ion H<sup>+</sup> memprotonasi gugus karbonil pada asam asetat sehingga gugus hidroksil dari pati lebih mudah menyerang atom C pada gugus karbonil asam asetat. Sehingga diperoleh struktur intermediet ester pati asetat, intermediet ini kemudian melepaskan ion H<sup>+</sup> dan molekul air, sehingga terbentuk ester pati asetat.



Gambar 1. Mekanisme pembentukan ester pati asetat dikatalisis dengan asam sulfat [3].

### 3. Keunggulan Pati Terasetilasi dengan Pati Alami

Pati alami umumnya memiliki kelemahan yang mengurangi aplikasinya di dalam proses pengolahan pangan, beberapa di antaranya adalah kemampuan membentuk gel yang tidak konsisten, menghasilkan suspensi pati yang tidak tahan dengan suhu tinggi, pada suhu dingin mudah mengalami sineresis akibat terjadinya retrogradasi pati, kemampuan gelatinisasi yang rendah pada kondisi asam sehingga mudah mengalami hidrolisis, rendahnya tingkat viskositas karna tidak tahan proses mekanis seperti proses pengadukan atau pemompaan. Sedangkan keunggulan sifat fisikokimia yang dimiliki oleh pati terasetilasi seperti suhu gelatinisasi, *swelling power*, *solubility*, dan tingkat kejernihan pasta (*paste clarity*) yang tinggi, serta memiliki stabilitas penyimpanan dan masakannya lebih baik jika dibandingkan dengan pati asalnya. Selain itu, kualitas produk yang dihasilkan dari pati terasetilasi lebih stabil dan tahan terhadap retrogradasi.

### 4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Modifikasi pati terasetilasi dan Pengaruhnya terhadap Derajat Substitusi, Sifat Fisikokimia, Morfologi, Termal dan Pasting

Proses asetilasi ditujukan untuk mendapatkan pati asetat yang dipengaruhi oleh jenis katalis, konsentrasi pereaksi, suhu dan lama waktu reaksi asetilasi [4;5]. Menurut [6] menyebutkan bahwa secara umum modifikasi pati secara asetilasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik yang meliputi struktur granula (bentuk dan ukuran granula), komposisi granula (Rasio Amilopektin dan Amilosa serta komposisi selain pati) sedangkan faktor ekstrinsik terdiri dari reagents (Jenis Reagen, Konsentrasi), kondisi media reaksi (suhu, pH, lama reaksi dan tekanan). Faktor - faktor tersebut akan berpengaruh terhadap derajat substitusi, % asetil, sifat - sifat fisiko

kimia, morfologi dan reologi, termal serta pasting pati terasetilasi.

**a. Derajat Substitusi**

Derajat substitusi (DS) dan (%) asetil digunakan untuk mengetahui berapa banyak gugus asetil yang tersubstitusi ke dalam pati yang terasetilasi. DS merupakan parameter yang menentukan penggunaan pati terasetilasi secara komersial, dan menentukan besarnya perubahan sifat fungsional pati asetat dari pati alaminya.

Derajat substitusi (DS) sangat dipengaruhi oleh sumber tanaman, pati alami dari berbagai jenis sumber tanaman mempunyai keunikan tersendiri. Struktur dan jenis material antara tiap sumber pati berbeda tergantung sifat-sifat botani sumber pati tersebut. Pati disusun paling sedikit oleh tiga komponen utama yaitu amilosa, amilopektin dan material antara seperti, protein dan lemak Umumnya pati mengandung 15-30% amilosa, 70-85% amilopektin dan 5-10% material antara. Pada satu jenis tanaman dengan varietas yang berbeda - beda komposisi materialnya bervariasi seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Komposisi Pati Barley yang diisolasi dari varietas yang berbeda

Varietas	Pati (%)	Lemak (%)	Protein (%)	Amilosa (%)	Amilopektin (%)	A/P
Zangqing 8	95,14±2,20b	0,02±0,01a	0,42±0,07a	23,85±2,05bc	71,30±2,05a	0,34±0,03a
Zangqing 148	90,58±2,59c	0,02±0,00ab	0,44±0,02a	24,75±1,16abc	65,89±1,63b	0,38±0,03ab
Beiqing 6	97,95±1,34a	0,01±0,01b	0,31±0,05a	27,49±0,55a	70,46±0,55a	0,39±0,02b
Zangqing 25	97,18±0,80ab	0,01±0,00ab	0,33±0,04a	27,12±0,33ab	70,06±0,33a	0,39±0,02b
Kunlun12	95,57±0,56ab	0,01±0,01ab	0,45±0,03a	24,97±0,17abc	70,60±0,17a	0,35±0,02b
Zangqing 320	96,96±0,84ab	0,01±0,00ab	0,39±0,05a	26,23±2,96abc	70,73±2,96a	0,37±0,02b
Xila19	95,36±0,18ab	0,01±0,00ab	0,32±0,09a	22,72±0,85c	72,64±0,85a	0,31±0,02b

Sumber : [7]

Kandungan amilosa yang berbeda - beda pada satu tanaman dengan varietas yang berbeda - beda pun akan mempengaruhi % asetil dan nilai DS seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. % Asetil dan DS pati beras terasetilasi dari kultivar yang berbeda

Kultivar	% Asetil	DS
PR-106	2,77 <sup>b</sup>	0,107 <sup>b</sup>
PR-114	2,46 <sup>a</sup>	0,095 <sup>a</sup>
IR-8	3,03 <sup>b</sup>	0,118 <sup>b</sup>
PR-103	2,26 <sup>a</sup>	0,087 <sup>a</sup>
PR-113	3,68 <sup>c</sup>	0,144 <sup>c</sup>

DS = derajat substitusi ; Huruf yang sama di dalam kolom menunjukkan tidak berbeda nyata (p < 0,05)

Sumber : [8]

Pada Tabel 2 terlihat bahwa (%) asetil dan DS pati asetat masing-masing untuk kultivar yang berbeda bervariasi antara 2,26-3,68% dan 0,087-0,144. Kultivar PR-113 menunjukkan (%) asetil dan DS tertinggi sedangkan untuk DS PR-103 menunjukkan nilai terendah.

Variasi derajat substitusi antara pati yang berbeda mungkin juga karena perbedaan dalam kemasan intragranula pati beras. Karena rantai amilosa yang dikemas dalam daerah amorf serta tata letak rantai amilosa dan amilopektin dapat mempengaruhi substitusi reaksi kimia dalam unit glukosa makromolekul pati [9].

Granula pati beras dilaporkan lebih kaku dibandingkan pati kentang dan jagung [10].

Selain itu (%) asetil dan DS yang diamati lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya pada kentang dan jagung pati dengan reagen asetat anhidride pada kondisi yang sama [2]. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh perbedaan dalam kandungan amilosa dan struktur granular beras, kentang dan pati jagung.

[11] mengamati pengaruh asetilasi terhadap sifat fisikokimia, morfologi, pati beras yang mengandung high-medium-low amilosa seperti yang disajikan pada Tabel 3. Tabel 3. Persentase asetil dan derajat substitusi pada pati beras yang mengandung high-medium-low amilosa dengan lama reaksi yang berbeda

Pati	10		30		90	
	Asetil (%)	DS	Asetil (%)	DS	Asetil (%)	DS
High - amylose	6,17 <sup>c</sup>	0,24 <sup>c</sup>	10,22 <sup>c</sup>	0,42 <sup>c</sup>	16,10 <sup>c</sup>	0,72 <sup>c</sup>
Medium - amylose	9,23 <sup>b</sup>	0,38 <sup>b</sup>	10,75 <sup>b</sup>	0,45 <sup>b</sup>	17,80 <sup>b</sup>	0,81 <sup>b</sup>
Low - amylose	10,34 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>	11,60 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	20,47 <sup>a</sup>	0,96 <sup>a</sup>

Hasil merupakan rata-rata dari tiga perlakuan. Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan secara statistic (p<0,05).

Sumber : [11]

Asetilasi pati menghasilkan pati beras dengan nilai DS yang berbeda tergantung pada kandungan amilosa dan lama reaksi (Tabel 3). Pati beras terasetilasi dengan lama reaksi 90 menit menunjukkan nilai DS dan %Ac yang lebih tinggi dibandingkan lama reaksi 10 dan 30 menit. Hal ini disebabkan karena kemampuan kelompok asetil untuk menyisip pada pati beras dengan kandungan low-amilosa lebih besar dibandingkan pada medium dan high-amilosa pati. Hal yang senada juga dilaporkan oleh [12] yang mempelajari karakteristik asetilasi pada pati jagung yang high-amilosa, normal, dan waxy. Dimana kemudahan penyisipan kelompok asetil pada waxy dibandingkan yang high-amilosa. Selain itu, semakin lama waktu asetilasi, % Ac dan DS semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu kontak antara asam asetat dengan pati maka lama-kelamaan gugus asetil pada asam asetat akan melemahkan ikatan hidrogen pada pati tersebut yang menyebabkan semakin banyak gugus OH- pati yang tersubstitusi oleh gugus asetil.

Selain pengaruh kandungan amilosa, reagen dan katalisator yang digunakan juga mempengaruhi nilai DS, seperti penelitian yang dilakukan oleh [13] yang mempelajari pengaruh rasio asam asetat dan asetat anhidride terhadap sifat pati jagung yang diperlakukan menggunakan iodium sebagai katalisator dengan bantuan microwave ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh Rasio Asam asetat dan asetat anhidride terhadap nilai DS pati jagung sebelum dan sesudah asetilasi

Sampel	Asam asetat (mmol)	Asetat anhidride (mmol)	Kondisi eksperimen				DS
			Rasio (°)	I <sub>2</sub> (mmol)	Lama (menit)	Suhu (°C)	
Native	-	-	-	-	-	-	-
SA <sub>0</sub>	90	90	1:1	0	2	100	0,25
SA <sub>1</sub>	120	60	2:1	1,75	2	100	2,656
SA <sub>2</sub>	90	90	1:1	1,75	2	100	2,934

SA <sub>3</sub>	60	120	1:2	1,75	2	100	2,656
SA <sub>4</sub>	30	150	1:5	1,75	2	100	2,029
SA <sub>5</sub>	0	180	0:1	1,75	2	100	1,837

<sup>a</sup> rasio Asam asetat: Asetat anhidrida (mol/mol)

Sumber : [13]

Dari Tabel 4 terlihat bahwa nilai DS tertinggi adalah 2,93 dengan perlakuan rasio asam asetat dan asetat anhidrida yang sama dengan pemberian katalisator iodine. Adapun yang tanpa perlakuan katalisator menunjukkan nilai yang terendah yakni 0,25. Hal ini disebabkan karena iodine bertindak sebagai *Lewis acid catalyst*. Rasio reagen yang berbeda-beda juga menunjukkan dampak yang nilai DS yang berbeda - beda.

Dalam hal ini, reaksi pretreatment dengan asam asetat dapat mereaktifkan bagian-bagian dari molekul pati, yang kemudian esterifikasi dipercepat dengan anhidrida asetat sehingga efektif meningkatkan DS seperti yang diungkapkan oleh [1] bahwa sejumlah besar asetat anhidrida diperlukan untuk merangsang *collision* molekul pati dalam reaksi. selain pemberian reagen dan katalisator, beberapa metode seperti penggunaan UHP (Ultra High Pressure) juga dapat mempengaruhi nilai derajat substitusi. [14] mempelajari pengaruh UHP terhadap karakteristik pati jagung terasetilasi yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Sistem reaksi dan nilai derajat substitusi (<sup>a</sup>) granula pati jagung terasetilasi menggunakan asetat anhidrida.

Perlakuan	Reagen (s.b <sup>b</sup> )	pH	Tekanan (MPa)	Suhu (°C)	Lama (menit)	DS
Kontrol reaksi	12,0	8,0-8,5	-	30	60	0,089±0,002 <sup>a</sup>
UHP1	12,0	8,0-8,5	0,1	25	15	0,047±0,000 <sup>b</sup>
UHP2	12,0	8,0-8,5	100	25	15	0,046±0,002 <sup>b</sup>
UHP3	12,0	8,0-8,5	200	25	15	0,048±0,001 <sup>b</sup>
UHP4	12,0	8,0-8,5	300	25	15	0,055±0,000 <sup>c</sup>
UHP5	12,0	8,0-8,5	400	25	15	0,067±0,002 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Rerata nilai dari dua ulangan reaksi; nilai didalam kolom menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ )

<sup>b</sup>s.b, basis berat kering pati

Sumber : [14]

Sintesis pati jagung terasetilasi dengan tanpa (kontrol) dan adanya pemberian tekanan (UHP) memberikan perbedaan nilai DS. Pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai DS yang lebih rendah dengan pemberian tekanan, hal ini kemungkinan besar disebabkan perbedaan lama reaksi antara konvensional dan UHP. [1] melaporkan bahwa nilai DS pati asetat seiring dengan bertambahnya waktu reaksi yang berkisar antara 30-240 menit. Meskipun demikian, adanya bantuan UHP memberikan waktu reaksi 75% lebih singkat dibandingkan dengan kontrol, selain itu penggunaan suhu yang lebih rendah sehingga dapat mengurangi energi yang digunakan.

#### b. Sifat Fisikokimia Pati Terasetilasi

Sifat fisikokimia yang meliputi *swelling power* dan *solubility*. *Swelling power* merupakan kenaikan volume dan berat maksimum pati selama mengalami pengembangan di dalam air. *Swelling power* menunjukkan kemampuan pati untuk mengembang dalam air. *Swelling power* yang tinggi berarti semakin tinggi pula kemampuan pati mengembang dalam air. Nilai *swelling power* perlu diketahui untuk memperkirakan ukuran atau volume wadah yang digunakan dalam proses produksi sehingga jika pati mengalami *swelling*, wadah yang digunakan masih bisa

menampung pati tersebut. Semakin besar *swelling power* berarti semakin banyak air yang diserap selama pemasakan.

Adapun untuk pola *solubility* pati dapat diketahui dengan cara mengukur berat supernatan yang telah dikeringkan dari hasil pengukuran *swelling power*. *Solubility* terkait dengan kemudahan molekul air untuk berinteraksi dengan molekul dalam granula pati dan menggantikan interaksi hidrogen antar molekul sehingga granula akan lebih mudah menyerap air dan mempunyai pengembangan yang tinggi. Adanya pengembangan tersebut akan menekan granula dari dalam sehingga granula akan pecah dan molekul pati terutama amilosa akan keluar. Sifat *swelling* pada pati sangat tergantung pada kekuatan sifat alami antar molekul di dalam granula pati, yang juga tergantung pada sifat alami dan kekuatan daya ikat granula. Salah satu faktor yang menentukan daya ikat tersebut perbandingan amilosa dan amilopektin. Selain itu lama proses reaksi asetilasi juga mempengaruhi sifat *swelling power* dan *solubility* karna berkaitan dengan lamanya kontak gugus asetil dengan molekul pati. Seperti penelitian yang dilakukan oleh [11] yang mempelajari pengaruh *low-medium-high* amilosa pati beras terasetilasi terhadap *swelling power* dan *solubility* yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh kandungan amilosa dan lama reaksi terhadap *swelling power* dan *solubility* pada *low-medium-high* amilosa pati beras sebelum dan sesudah asetilasi.

Sifat	Lama reaksi	High amylose	Medium amylose	low amylose
<i>Swelling power</i> (g/g)	Native	17,84aB	22,18aA	17,51aB
	10	11,27cC	13,91cB	18,75aA
	30	13,33bB	16,44bA	16,07aA
Kelarutan (%)	Native	12,47aA	11,29bB	6,09aC
	10	11,59aA	8,46cB	4,85bC
	30	12,02aA	13,71aA	2,98cB
	90	7,27bB	11,18bA	4,26bC

Secara umum pada *low-medium-high* amilosa pati beras terjadi penurunan *swelling power* dibandingkan dengan pati alaminya terkecuali pada *low*-amilosa dengan lama reaksi 10 menit. Hal yang serupa juga terjadi pada parameter *solubility*, kecuali pada *medium*-amilosa. Dalam pati yang dimodifikasi oleh asetilasi, *introduction* gugus asetil ke dalam granula pati menyebabkan pati bersifat hidrofobik yang menyebabkan air sulit masuk, sehingga mengurangi *swelling power*.

Jika dibandingkan dengan perbedaan kandungan amilosa, *low*-amilosa menunjukkan kelarutan yang sangat rendah bila dibandingkan dengan *medium*- dan *high*-amilosa. Adanya *introduction* gugus asetil ke dalam granula pati terutama di C6 menyebabkan peningkatan berat molekul pati yang menyebabkan *leaching* amilosa dari granula pati menjadi semakin sulit. Karakteristik kelarutan pati asetat juga tergantung dari DS dan polimerisasi rantai amilosa dan amylopektin. [15] juga menemukan kecenderungan yang sama pada pati ubi coco terasetilasi selama 60 menit mengalami penurunan kelarutan bila dibandingkan dengan pati asli.

Selain kandungan amilosa dan lama reaksi, penggunaan metode UHP juga dilaporkan mempengaruhi sifat fisikokimia pati terasetilasi [14] seperti yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rerata nilai *relative crystallinity*, *solubility*, dan *swelling power* pada granula pati jagung alami dan terasetilasi.

Sampel	RC(%) <sup>a</sup>	SS <sub>90</sub> (%) <sup>c</sup>	SP <sub>90</sub> (%) <sup>c</sup>
Native	7,7±0,2 <sup>A</sup>	15,5±0,7 <sup>F</sup>	18,0±0,4 <sup>F</sup>
Kontrol Reaksi	7,6±0,2 <sup>A</sup>	37,7±0,1 <sup>A</sup>	26,2±0,9 <sup>A</sup>
UHP1	7,7±0,1 <sup>A</sup>	26,7±0,5 <sup>C</sup>	21,5±0,5 <sup>C</sup>
UHP2	7,6±0,5 <sup>A</sup>	23,7±1,3 <sup>E</sup>	20,1±0,7 <sup>E</sup>
UHP3	7,7±0,2 <sup>A</sup>	24,8±1,0 <sup>D</sup>	20,9±0,1 <sup>D</sup>
UHP4	7,8±0,1 <sup>A</sup>	27,4±0,7 <sup>C</sup>	21,4±0,3 <sup>C</sup>
UHP5	7,8±0,0 <sup>A</sup>	31,1±1,3 <sup>B</sup>	22,3±0,3 <sup>B</sup>

<sup>a</sup> nilai rata-rata dari dua pengukuran; huruf yang sama dalam kolom menunjukkan tidak berbeda secara signifikan (p < 0,05).

<sup>b</sup> Didefinisikan sebagai persen rasio (%) total area dari daerah puncak kristal dengan total difraktogram (daerah kristal dan amorf).

<sup>c</sup> Kelarutan Pati (SS) dan daya kembang pati (SP) ditentukan pada suhu 90 °C.

Sumber : [14]

Hasil yang berbeda dari penelitian [11] yang menunjukkan bahwa proses asetilasi dapat meningkatkan *swelling power* dan *solubility* bila dibandingkan pati alaminya (Tabel 7). Hal yang serupa juga ditunjukkan dengan adanya pemberian UHP, bahwa semakin tinggi tekanan yang diberikan maka *swelling power* dan *solubility* juga semakin tinggi. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh adanya inkorporasi kelompok asetil pada molekul pati yang mencegah hubungan antar-rantai antara molekul pati asetat, dan kemudian difasilitasi oleh hidrasi sehingga menyebabkan pembengkakan granula yang dapat meningkatkan *swelling* granula pati terasetilasi serta meningkatkan mobilitas molekul yang mengarah ke peningkatan kelarutan pati.

Perlakuan UHP dapat menghidrasi daerah amorf dalam granula pati, sehingga menyebabkan pembengkakan granula dan distorsi daerah kristal. Dengan demikian, daerah kristalin menjadi lebih mudah diakses oleh air. UHP dapat menjadi faktor kunci untuk mempengaruhi reaktivitas granula pati dengan mempromosikan aksesibilitas reagen pada molekul granula pati.

Adanya efek yang berlawanan antara kandungan amilosa pada pati beras serta pemberian UHP pada pati jagung terhadap *swelling power* dan *solubility* juga erat kaitannya dengan perbedaan ukuran granula pati antara jagung dan beras. Ukuran granula pati pada sereal (seperti pada beras) relatif lebih kecil dibandingkan dengan pati dari umbi-umbian (kentang) dan kacang-kacangan (jagung). Ukuran granula yang semakin kecil akan menyebabkan *introduction* gugus asetil kedalam molekul pati akan semakin sulit, sehingga memungkinkan hal tersebut terjadi pada pati beras. Seperti yang disebutkan oleh [16] bahwa asetilasi menyebabkan peningkatan *solubility* pada pati kentang dan jagung.

Selain itu, granula pati beras dilaporkan lebih kaku dibandingkan pati kentang dan jagung [10]. [8] menyebutkan bahwa pati beras mempunyai perbedaan dalam kemasan intragranular dan dilaporkan bahwa rantai amilosa dikemas dalam daerah amorf serta susunan rantai

amilosa dan amylopectin dapat mempengaruhi reaksi substitusi kimia dalam unit glukosa makromolekul pati.

**c. Sifat Termal Pati Terasetilasi**

Sifat termal pati terasetilasi meliputi suhu gelatinisasi (suhu terjadinya peristiwa gelatinisasi). Suhu gelatinisasi terdiri dari suhu awal, puncak dan akhir gelatinisasi. Gelatinisasi merupakan proses pembengkakan granula pati ketika dipanaskan dalam media air. Granula pati tidak larut dalam air dingin, tetapi granula pati dapat mengembang dalam air panas. Naiknya suhu pemanasan akan meningkatkan pembengkakan granula pati. Pembengkakan granula pati menyebabkan terjadinya penekanan antara granula pati dengan lainnya. Mula-mula pembengkakan granula pati bersifat *reversible* (dapat kembali ke bentuk awal), tetapi ketika suhu tertentu sudah terlewati, pembengkakan granula pati menjadi *irreversible* (tidak dapat kembali). Kondisi pembengkakan granula pati yang bersifat *irreversible* ini disebut dengan gelatinisasi. Suhu gelatinisasi sangat dipengaruhi oleh lama proses asetilasi [11] dan metode penggunaan UHP [14].

Pada penelitian yang dilakukan oleh [11] yang ditunjukkan pada Tabel 8 memperlihatkan bahwa pati alami menunjukkan suhu gelatinisasi lebih tinggi bila dibandingkan dengan pati terasetilasi, selain itu semakin lama waktu proses asetilasi maka semakin rendah suhu gelatinisasi yang dibutuhkan. Tidak ada perbedaan suhu gelatinisasi dari pati alami pada berbagai kandungan amilosa. Suhu awal gelatinisasi pada *high*-amilosa lebih rendah dibandingkan dengan *low*- dan *medium*-amilosa, demikian juga pada parameter perubahan entalpi terendah terjadi pada *high*-amilosa kemudian diikuti oleh *medium*- dan *low*-amilosa. [17] menyebutkan bahwa introduksi gugus asetil ke dalam rantai polimer mengakibatkan destabilisasi struktur granular pati, sehingga lebih cepat mengalami gelatinisasi yang mengarah ke penurunan suhu gelatinisasi.

Tabel 8. Sifat termal pati beras alami dan terasetilasi yang mengandung *low-medium-high*-amilosa.

Sampel	Lama reaksi (menit)	To(°C)	Tp(°C)	Tc(°C)	ΔH (Jg <sup>-1</sup> )
<i>High-amylose</i>	Native	59,79	65,70	71,05	7,28
	10	54,90	63,07	67,49	1,17
	30	52,22	53,32	59,46	0,27
	90	49,90	50,22	54,60	0,01
<i>Medium-amylose</i>	Native	61,89	67,94	73,56	9,44
	10	52,28	54,80	60,04	0,07
	30	51,46	50,37	57,36	0,06
	90	45,15	47,66	50,18	0,04
<i>Low-amylose</i>	Native	60,62	67,36	75,70	13,57
	10	56,57	61,29	64,30	0,69
	30	50,62	55,99	65,54	0,42
	90	50,17	57,07	59,68	0,03

Sumber : [11]

Metode penggunaan UHP juga dilaporkan [14] dapat mempengaruhi suhu gelatinisasi pati jagung terasetilasi seperti yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rerata suhu gelatinisasi pada pati jagung sebelum dan sesudah asetilasi

Taksi	To(°C)	Tp(°C)	Tc(°C)	ΔH (Jg <sup>-1</sup> )
Native	64,5±0,5 <sup>A</sup>	70,7±0,1 <sup>A</sup>	87,5±0,6 <sup>A</sup>	7,6±0,2 <sup>A</sup>
Reaksi kontrol	56,5±0,7 <sup>E</sup>	65,0±0,7 <sup>F</sup>	85,3±0,2 <sup>D</sup>	5,3±0,4 <sup>B</sup>
UHP1	61,2±0,9 <sup>B</sup>	67,2±0,5 <sup>B</sup>	85,9±0,1 <sup>B</sup>	5,3±0,0 <sup>B</sup>
UHP2	58,8±1,0 <sup>D</sup> (63,9±0,5) <sup>C</sup>	66,5±0,0 <sup>D</sup> (69,6±0,2)	85,3±0,3 <sup>CD</sup> (87,8±0,9)	5,1±0,0 <sup>B</sup> (6,6±0,8)
UHP3	59,7±1,0 <sup>C</sup>	67,0±0,4 <sup>BC</sup>	85,7±0,9 <sup>BCD</sup>	5,0±1,1 <sup>BC</sup>

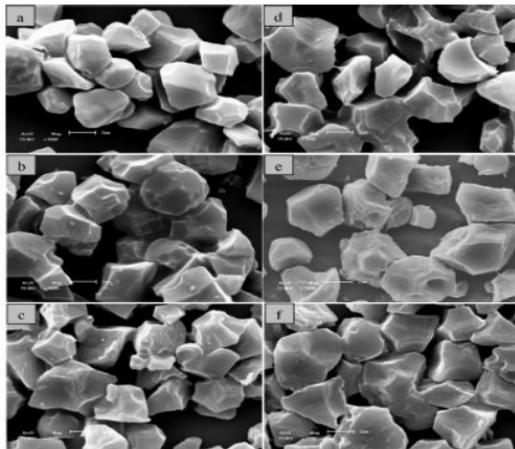
UHP4	(62,5±1,2) 58,9±0,5 <sup>D</sup> (62,3±0,7)	(69,6±0,2) 66,8±0,5 <sup>C</sup> (69,2±0,1)	(87,5±0,2) 85,7±0,8 <sup>B</sup> (87,7±1,1)	(7,1±0,2) 4,8±0,9 <sup>C</sup> (6,8±0,3)
UHP5	56,6±0,8 <sup>E</sup> (63,1±0,9)	66,2±0,0 <sup>E</sup> (68,9±0,6)	82,2±0,9 <sup>E</sup> (86,0±1,5)	4,9±0,1 <sup>B</sup> (7,6±0,3)

<sup>a</sup> Mean value of three measurements; values within a column sharing a upper-case letter are not significantly different ( $p < 0,05$ ).  
<sup>b</sup> Gelatinization onset, peak, and completion temperatures are designated as  $T_{go}$ ,  $T_p$ , and  $T_c$ , respectively; gelatinization enthalpy is denoted as  $\Delta H$ .  
<sup>c</sup> Values are the mean of three measurements.

**Rerata suhu gelatinisasi pada pati alami kontrol dan penggunaan UHP pati jagung terasetilasi diamati menggunakan DSC. Tabel 9 menunjukkan bahwa pati alami memiliki suhu gelatinisasi baik itu suhu awal, puncak dan akhir serta entalpi yang lebih tinggi dibandingkan pati terasetilasi kontrol (metode konvensional) serta penggunaan UHP. Hal ini sesuai dengan penelitian – penelitian sebelumnya yang telah dilaporkan bahwa group asetil yang tersubstitusi memecah struktur granula pati dan menghambat asosiasi rantai antar molekul pati serta memfasilitasi hidrasi granula pati [2;4;8;18]. Adanya hidrasi granula pati akan mempercepat proses gelatinisasi dan membutuhkan lebih sedikit energi sehingga suhu gelatinisasi dan entalpi berkurang [2,8].**

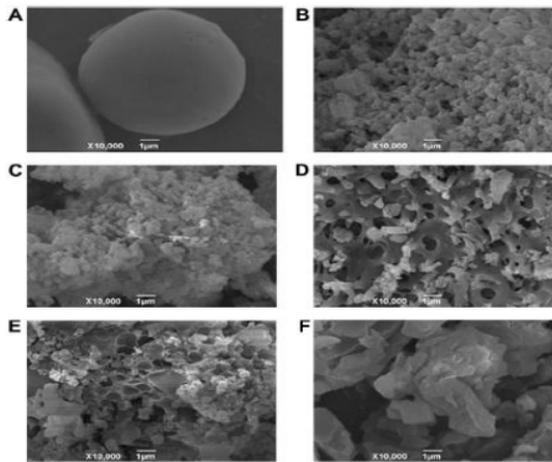
**d. Sifat Morfologi Pati Terasetilasi**

Dari penelitian [11] yang mengamati pengaruh asetilasi terhadap morfologi granula pati beras dengan kandungan *low-medium-high*-amilosa selama 90 menit. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron scanning (SEM) dan disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa tidak ada efek asetilasi pada morfologi granula pati. Sodhi dan Singh (2005) juga melaporkan bahwa SEM menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara morfologi eksternal pati alami dan asetat. Namun, peneliti melaporkan bahwa secara umum asetilasi menyebabkan agregasi granula pati. Pengamatan serupa telah dilaporkan pada morfologi pati asetat jagung dan kentang [2], serta pati beras [19]. [20] juga menunjukkan bahwa permukaan granula dari pati asetat adalah kurang halus bila dibandingkan pati alaminya. Adanya peningkatan persentase asetil menunjukkan ikatan hidrogen antar molekul terganggu dan granula pati rusak.



Gambar 2. SEM (Scanning Electron Micrographs) Pati beras alami *high*-amilosa (a), Pati beras alami *medium*-amilosa (b), Pati beras alami *low*-amilosa (c), pati terasetilasi *high*-amilosa (d), pati terasetilasi *medium*-amilosa (e), pati

terasetilasi *low*-amilosa (f). Angka d-f merupakan pati terasetilasi dengan lama reaksi 90 menit



Gambar 3. Morfologi permukaan CS alami (pati jagung) dan CS asetat dengan rasio asam asetat dan asetat anhidrida yang berbeda diamati melalui SEM (10.000x): (A) CS alami; (B) CS asetat dengan rasio 2:1 (DS, 2,65); (C) CS asetat dengan rasio 1:1 (DS, 2,93); (D) CS asetat dengan rasio 1:2 (DS, 2,65); (E) CS asetat dengan rasio 01:05 (DS, 2,029); (F) CS asetat dengan rasio 00:01 (DS, 1,837).

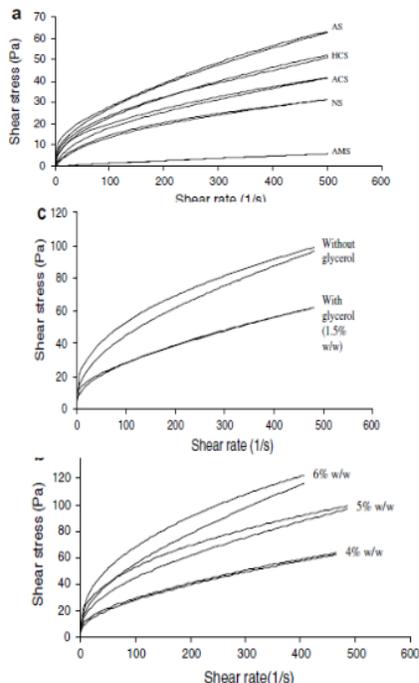
Sifat morfologi yang diamati oleh [13] ditunjukkan pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa adanya perbedaan antara pati jagung sebelum dan sesudah asetilasi dengan rasio asam asetat dan asetat anhidrida yang berbeda. granula pati jagung alami menunjukkan bentuk poligonal tidak beraturan dengan permukaan halus dan diameter rata-rata sekitar 10  $\mu$ m. Morfologi ini juga telah dipaparkan oleh [21]. [22] juga menegaskan bahwa iradiasi microwave tidak memiliki efek yang signifikan terhadap morfologi dari granula pati jagung. Namun, setelah esterifikasi, struktur permukaan granul benar-benar berubah bila dibandingkan dengan pati alaminya. Terlihat bahwa morfologi awalnya halus berubah menjadi permukaan kasar yang dilapisi dengan berbagai diameter berlubang.

Adanya peningkatan DS, menyebabkan meningkatnya agregasi dan porositas pada permukaan granula pati asetat. Transformasi morfologi tersebut juga dikaitkan dengan fusi (peleburan) granula pati yang disebabkan oleh gangguan pati selama proses pemanasan. Selain itu, peneliti mengamati bahwa agregasi permukaan granula pati berkorelasi dengan rasio molar asam asetat:anhidrida asetat. Pada Gambar 3B dan D terlihat bahwa permukaan granula pati asetat dengan DS yang sama (2,65) menunjukkan perbedaan struktur, pengamatan ini menguatkan fakta bahwa variasi morfologi permukaan sangat terkait dengan perubahan rasio reagen. [2] melaporkan asetilasi menyebabkan peleburan granula karena bereaksi dengan anhidrida asetat.

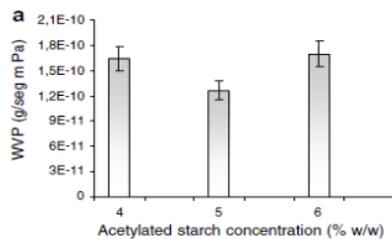
Selama reaksi, granula pati kehilangan integritas kemudian meleleh membentuk struktur baru [23]. Peleburan ini terutama akibat dari introduksi gugus asetil menyebabkan terganggunya dan melemahnya struktur internal granula. Asetilasi pati terjadi di wilayah amorf dari



dan biaya rendah [26]. Untuk itu, pada penelitian yang dilakukan oleh [28] yang meneliti tentang kemampuan pembentukan film pada pati jagung yang dimodifikasi secara kimia. Pada tahap penelitian pemilihan jenis dan konsentrasi pati yang dimodifikasi untuk membentuk film terlihat bahwa pati terasetilasi memiliki *shear stress* yang paling tinggi bila dibandingkan dengan modifikasi kimia pati yang lain seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perilaku rheologi berbagai suspensi filmogenic (a) 4% b/b suspensi filmogenic dari: pati asetat (AS), pati asetat cross-linked (ACS), pati hydroxypropylated cross-linked (HCS), *acid modification starch* (AMS) dan pati alami (NS). (b) suspensi Filmogenic dari 4%, 5% dan 6% b/b AS. (c) suspensi Filmogenic dari 5% b/b AS tanpa gliserol dan dengan gliserol pada konsentrasi 1,5 g/100 g suspensi filmogenic.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi pati jagung asetat pada permeabilitas uap air (WVP) film

Pada Gambar 4. semua suspensi filmogenic dari modifikasi kimia pati diuji kemampuannya membentuk film. Dari semua pati yang dimodifikasi secara kimia, pati asetat menunjukkan karakteristik terbaik untuk membentuk film karena nilai *shear stress* yang dihasilkan lebih tinggi bila dibandingkan pati dengan modifikasi kimia

yang lain, selain itu lebih transparan. Kemampuan pembentukan film terkait dengan amilosa terutama ukuran rantai amilosa dan amilopektin [29]. Jadi, meskipun pati asetat mempunyai kandungan amilosa rendah tetapi mungkin derajat polimerisasi rantai amilosanya yang tinggi.

Suspensi Filmogenic dari pati asetat menggunakan konsentrasi berkisar antara 4% dan 6% b/b terbentuk film dengan penampilan yang baik. Karena, WVP adalah sifat penting dalam film yang dikembangkan dari bahan hidrofilik untuk digunakan dalam memilih konsentrasi pati asetat optimum. Maka diperoleh konsentrasi pati 5% b/b sebagai konsentrasi optimum karena memiliki nilai WVP terendah yakni  $1.26 \times 10^{-10}$  g/s mPa (Gambar 5).

### C. Kesimpulan

- Pada pati beras, semakin tinggi kandungan amilosa pati maka % derajat substitusi dan % asetil menurun, begitu pula sebaliknya.
- Semakin lama waktu reaksi pati maka % derajat Substitusi dan % asetil meningkat, serta *Swelling Power* dan *Solubility* nya semakin tinggi akan tetapi juga dipengaruhi oleh ukuran granula pati
- Adanya penambahan katalisator dan *pre treatment* penambahan asam asetat akan meningkatkan derajat substitusi pati terasetilasi dibandingkan dengan pati alami
- Perlakuan UHP mempengaruhi proses asetilasi yang dapat mengurangi suhu dan lama proses, serta menurunkan temperatur gelatinisasi dan sifat pasta
- Sifat morfologi pati terasetilasi lebih porus, kurang halus dan sedikit remah dibandingkan dengan pati alami
- Tidak ada perbedaan signifikan pada kandungan amilosa beras terhadap sifat pasting dan viskositas akan tetapi semakin lama waktu reaksi maka sifat pasting dan viskositas pati beras terasetilasi semakin menurun
- Pati jagung terasetilasi berpotensi dijadikan sebagai bahan pembentuk film.

### DAFTAR RUJUKAN

- Xu, Y., Miladinov, V., & Hanna, M. A. "Synthesis and characterization of starchacetates with high substitution". *Cereal Chemistry*, 81, 735-740. 2004.
- Singh, N., Chawla, D., & Singh, J. "Influence of acetic anhydride on physico-chemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch". *Food Chemistry*, 86, 601-608. 2004.
- Smith, Michael B., "Organic Chemistry: An acid-base approach" Taylor and FrancisGroup, USA. 2011.
- Huang, J., Schols, H., Jin, Z., Sulmann, E., & Voragen, A. G. J. "Pasting proper-ties and (chemical) fine structure of acetylated yellow pea starch is affected byacetylation reagent type and granule size". *Carbohydrate Polymers*, 68, 397-406. 2007.
- Huber, K. C., & BeMiller, J. N. "Channels of maize and sorghum starch granules". *Carbohydrate Polymers*, 41, 269-276. 2000
- Bertolini, A.C., Starches Characterization, Properties, and Applications. CRC Press Taylor and Francis group. USA. 2010.

- [7] Li, W., Xiao, X., Zhang W., Zheng, J., Ouyang, S., Zhang, G., Luo, Q. "Compositional, morphological, structural and physicochemical properties of starches from seven naked barley cultivars grown in China". *Food Research International*, 58, 7-14. 2010
- [8] Sodhi, N. S., & Singh, N. "Characteristics of acetylated starches prepared using starches from different rice cultivars". *Journal of Food Engineering*, 70, 117-127. 2005
- [9] Islam, M. N., Rutledge, J. E., & James, W. H. "Influence of rice crystallinity on cross-linking". *Cereal Chemistry*, 51, 5-56. 1974
- [10] Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., & Gill, B. S. "Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources—a review". *Food Chemistry*, 81, 219-231. 2003.
- [11] Colussi, R., Pinto, V.Z., Halal, S.L.M.E., Vanier, N.L., Villanova, F. A., Silva, R.M., Zavareze, E.S., Dias, A.R.G. "Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high-, medium-, and low-amylose rice starches". *Carbohydrate Polymer* 103, 405-413. 2014
- [12] Luo, Z.-G., & Shi, Y.-C. "Preparation of acetylated waxy, normal, and high-amylose maize starches with intermediate degrees of substitution in aqueous solution and their properties". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 9468-9475. 2012
- [13] Diop, C., Li, H. L., Xie, B. J., & Shi, J. "Effects of acetic acid/acetic anhydride ratios on the properties of corn starch acetates". *Food Chemistry*, 126, 1662-1669. 2011
- [14] Choi, Y.S., Kim H-S., Park, C-S., Kim, B-Y., Baik, M-Y. "Ultra high pressure (UHP)-assisted acetylation of corn starch". *Carbohydrate Polymers*, 78, 862-868. 2009
- [15] Lawal, O. S. "Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch". *Food Chemistry*, 87, 205-218. 2004.
- [16] Mbougeng, P. D., Tenin, D., Scher, J., & Tchiégang, C.. "Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches". *Journal of Food Engineering*, 108, 320-326. 2012
- [17] Wotton, M., & Bamunuarachchi, A. "Application of DSC to starch gelatinization". *Starch/Stärke*, 31, 201-204 1979.
- [18] Wang, L., & Wang, Y. J. "Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound". *Journal of Cereal Science*, 39, 291-296. 2004
- [19] Gonzalez, Z., & Perez, E. "Effect of acetylation on some properties of rice starch". *Starch/Stärke*, 54, 148-154. 2002.
- [20] Sha, X. S., Xiang, Z. J., Bin, L., Jing, L., Bin, Z., Jiao, Y. J., et al. "Preparation and physical characteristics of resistant starch (type 4) in acetylated indica rice". *Food Chemistry*, 134, 149-154. 2012.
- [21] Chung, Y. L., & Lai, H. M. "Molecular and granular characteristics of corn starch modified by HCl-methanol at different temperatures". *Carbohydrate Polymers*, 63, 527-534. 2006.
- [22] Jie, M. G., Peng, W., Sheng, M. X., Xing, Z., & Tong, Z. "Crosslinking of corn starch with sodium trimetaphosphate in solid state by microwave irradiation". *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 54-5860. 2006
- [23] Yan, H., & Zhengbiao, G. U. "Morphology of modified starches prepared by different methods". *Food Research International*, 43(20), 767-772. 2010.
- [24] Wang, X., Gao, W. Y., Zhang, L. M., Xiao, P. G., Yao, L. P., Liu, Y. "Study on the morphology, crystalline structure and thermal properties of yam starch acetates with different degrees of substitution". *Science in China Series Chemistry*, 51(9), 859-865. 2008.
- [25] Betancur, A. D., Chel, G. L., & Canizares, H. E. "Acetylation and characterization of *Canavalia ensiformis* starch". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 378-382. 1997.
- [26] Liu, Z. "Edible films and coatings from starches". In J. H. Han (Ed.), *Innovations in food packaging* (pp. 318-336). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. 2005.
- [27] Saaratrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., & Uttapap, D. "Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches". *Carbohydrate Polymers*, 61, 211-221. (2005).
- [28] López, O., García, M., Zaritzky, N. "Film forming capacity of chemically modified corn starches". *Carbohydrate Polymers*. 73, 573-581. 2008.
- [29] Mali, S., Sakanaka, L., Yamashita, F., Grossmann Eiras, M. "Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect". *Carbohydrate Polymer*. 60, 283-289. 2005.

# 16%

SIMILARITY INDEX

### PRIMARY SOURCES

- 1** Choi, H.S.. "Ultra high pressure (UHP)-assisted acetylation of corn starch", *Carbohydrate Polymers*, 20091117  
Crossref 219 words — 3%
- 2** Rosana Colussi, Vania Zanella Pinto, Shanise Lisie Mello El Halal, Nathan Levien Vanier et al. "Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high-, medium-, and low-amylose rice starches", *Carbohydrate Polymers*, 2014  
Crossref 164 words — 2%
- 3** [qdoc.tips](http://qdoc.tips)  
Internet 132 words — 2%
- 4** [www.sinta.ristekbrin.go.id](http://www.sinta.ristekbrin.go.id)  
Internet 123 words — 2%
- 5** [research.library.mun.ca](http://research.library.mun.ca)  
Internet 119 words — 2%
- 6** [digilib.unimed.ac.id](http://digilib.unimed.ac.id)  
Internet 114 words — 2%
- 7** Mohammed Obadi, Bin Xu. "Review on the physicochemical properties, modifications, and applications of starches and its common modified forms used in noodle products", *Food Hydrocolloids*, 2021  
Crossref 82 words — 1%
- 8** [www.scribd.com](http://www.scribd.com)  
Internet 66 words — 1%

9	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Internet	49 words — 1%
10	<a href="http://jurnal.unpand.ac.id">jurnal.unpand.ac.id</a> Internet	44 words — 1%
11	Tanwirul Millati, Nurhayati Nurhayati. "PEMBUATAN RESISTANT STARCH PATI BERAS DENGAN METODE ENZIMATIS DAN FISIK", Jurnal Agrotek Ummat, 2020 Crossref	33 words — < 1%
12	<a href="http://id.scribd.com">id.scribd.com</a> Internet	18 words — < 1%
13	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Internet	13 words — < 1%
14	<a href="https://docs.google.com">docs.google.com</a> Internet	10 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON  
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES < 2%