

**MODIFIKASI PATI UBI JALAR PUTIH UNTUK MENDAPATKAN KARAKTER
MIRIP PATI KENTANG MELALUI METODE ASETILASI**

TESIS

Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN



**GRACE MARIA ULFA
176100100111020**

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2021**



**MODIFIKASI PATI UBI JALAR PUTIH UNTUK Mendapatkan Karakter
Mirip Pati Kentang Melalui Metode Asetilasi**

Oleh:

**GRACE MARIA ULFA
176100100111020**

**MINAT TEKNOLOGI PENGOLAHAN PANGAN
PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Magister Teknologi Pertanian Strata Dua (S2)

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
MALANG
2021**




TESIS
**Modifikasi Pati Ubi Jalar Putih untuk Mendapatkan Karakter Mirip Pati
Kentang Melalui Metode Asetilasi**


Oleh :
Grace Maria Ulfa

Dipertahankan di depan penguji
Pada Tanggal **31 Maret 2021**
Dan dinyatakan memenuhi syarat

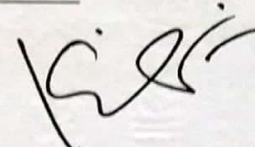
Komisi Pembimbing,


Prof. Ir. Simon B. W., M.App.Sc., Ph.D.

Ketua


Dr. Widya Dwi Rukmi Putri, STP., MP.

Anggota


Kiki Fibrianto, STP., M.Phil., Ph.D

Anggota

Malang,

Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Brawijaya

Dekan,


Prof. Dr. Ir. Imam Santoso, MP

NIP. 19681005 199512 1 001



***Karya ilmiah ini ditujukan kepada
Ayahanda dan Ibunda tercinta,
Bapak dan Ibu tercinta,
Kakak-kakakku tersayang, serta
Suami dan anakku tersayang***

GRACE MARIA ULFA. 176100100111020. Modifikasi Pati Ubi Jalar Putih untuk Mendapatkan Karakter Mirip Pati Kentang Melalui Metode Asetilasi.

Pembimbing :1. Prof. Dr.Ir. Simon Bambang Widjanarko, M.App.Sc

2. Dr. Widya Dwi Rukmi Putri, STP., MP

3. Kiki Fibrianto, STP., M.Phil., Ph.D

RINGKASAN

Pati kentang memiliki karakteristik yang sesuai untuk diaplikasikan sebagai bahan industri pangan untuk produk ekstrusi, bakeri, pastri, sup, dan pangan instan. Pati kentang memiliki suhu gelatinisasi, konsistensi pasting, dan kejernihan yang tinggi serta rasa yang netral sehingga banyak dimanfaatkan di industri pangan. Namun, pati kentang sampai saat ini masih menjadi komoditas impor dengan harga yang relatif tinggi. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pati lokal, misalnya pati ubi jalar yang dapat dimodifikasi agar memiliki karakter mirip pati kentang. Tujuan penelitian ini adalah memodifikasi pati ubi jalar putih sehingga memiliki karakteristik mirip dengan pati kentang komersial.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah asetilasi. Asetilasi merupakan modifikasi kimia yang dilakukan dengan menambahkan asetat anhidrat dengan katalis basa. Pengembangan substitusi pati kentang diharapkan dapat menjadi solusi pengganti pati kentang impor yang harganya tinggi serta meningkatkan nilai ekonomis ubi jalar lokal. Obyek pati ubi jalar yang digunakan diperoleh dari Jogjakarta. Perangkat lunak pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Design Expert 11 dan Minitab 17. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah penentuan konsentrasi natrium asetat anhidrat yang digunakan. Tahap kedua adalah proses optimasi dengan metode permukaan respon *central composite design*. Sedangkan tahap ketiga adalah melakukan verifikasi menggunakan pengujian *paired t-test* dengan pati kentang komersial.

Hasil penelitian menunjukkan respon daya kembang (0,839), kelarutan (0,353), dan kapasitas pengikatan air (0,185) pada pati ubi jalar asetilasi tidak berbeda nyata ($p>0,05$) pada uji *paired t-test* dengan pati kentang komersial. Pati asetilasi memiliki kadar air $10,22\pm 0,4\%$, kadar abu $0,50\pm 0,02\%$, kadar amilosa $41,48\pm 0,7\%$, kadar amilopektin $53,53\pm 0,8\%$, kadar pati $95,01\pm 0,49\%$, derajat kecerahan $87,31\pm 0,01$, pH $5,2\pm 0,00$, kapasitas pengikatan air $90,10\pm 0,44\%$, daya kembang $32,29\pm 1,69\text{g/g}$, dan kelarutan $5,06\pm 0,16\%$. Analisis mikrofografi menggambarkan terjadinya pengklusteran granula disebabkan substitusi gugus hidrofilik pada pati asetilasi yang dapat meningkatkan terbantuknya ikatan hidrogen. Terdapat pita absorpsi pada $1735\text{-}1740\text{ cm}^{-1}$ (C=O *stretching* asetil), 1368 cm^{-1} (C-H asetil), dan 1234 cm^{-1} (C-O *stretching* asetil), serta penurunan intensitas peak $3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ sebagai bukti terjadinya asetilasi pada analisis ikatan antar atom. Analisis sifat *pasting* menunjukkan penurunan *setback* dan *breakdown* pati asetilasi yang mengimplikasikan kestabilan pasta yang lebih baik serta kecenderungan retrogradasi dan sineresis yang lebih rendah. Pengaplikasian pati modifikasi dalam pembuatan produk bakeri dan pangan ekstrusi disarankan sebagai pengganti pati kentang.

Kata kunci: asetilasi, modifikasi pati, pati kentang, pati ubi jalar

GRACE MARIA ULFA. 176100100111020. Modification of White Sweet Potato Starch to Obtain Similar Characteristics of Potato Starch through the Acetylation Method.

Supervisors :1. Prof. Dr.Ir. Simon Bambang Widjanarko, M.App.Sc

2. Dr. Widya Dwi Rukmi Putri, STP., MP

3. Kiki Fibrianto, STP., M.Phil., Ph.D

SUMMARY

Potato starch has characteristics that are suitable for application as an ingredient in the food industry for extruded products, bakeries, pastries, soups, and instant foods. Potato starch has a high gelatinization temperature, pasting consistency, clarity, and neutral taste, so it is widely used in the food industry. However, potato starch is still an imported commodity with relatively high prices. Therefore, local starch alternatives are needed, such as sweet potato starch which can be modified to have a character similar to potato starch. The purpose of this study was to modify white sweet potato starch so that it has characteristics similar to commercial potato starch.

The method used in this research is acetylation. Acetylation is a chemical modification carried out by adding anhydrous acetate with an alkaline catalyst. The development of potato starch substitution is expected to be a solution to replace imported potato starch which has a high price and increase the economic value of local sweet potatoes. The object of sweet potato starch used was obtained from Jogjakarta. The data processing software used in this study were Design Expert 11 and Minitab 17. The research was carried out in three stages. The first stage is to determine the concentration of anhydrous sodium acetate used. The second stage is the optimization process with the central composite design response surface method. While the third stage is to verify using paired t-test with commercial potato starch.

The results showed that the swelling power (0.839), solubility (0.353), and water binding capacity (0.185) of acetylated sweet potato starch was not significantly different ($p>0.05$) in the paired t-test with commercial potato starch. Acetylated starch has moisture of $10.22\pm 0.4\%$, ash $0.50\pm 0.02\%$, amylose $41.48\pm 0.7\%$, amylopectin $53.53\pm 0.8\%$, starch $95.01\pm 0.49\%$, whiteness index 87.31 ± 0.01 , pH 5.2 ± 0.00 , water binding capacity $90.10\pm 0.44\%$, swelling power $32.29\pm 1.69\text{g/g}$, and the solubility was $5.06\pm 0.16\%$. Micrographic analysis describes the occurrence of granule clustering due to the substitution of hydrophilic groups in acetylated starch which can increase the formation of hydrogen bonds. There are absorption bands at $1735\text{-}1740\text{ cm}^{-1}$ (C=O stretching acetyl), 1368 cm^{-1} (CH acetyl), and 1234 cm^{-1} (CO stretching acetyl), as well as a decrease in peak intensity of $3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ as evidence the occurrence of acetylation in the analysis of bonds between atoms. Analysis of pasting properties showed a decrease in the setback and breakdown of acetylated starch which implies better paste stability and a lower tendency for retrogradation and syneresis. The application of modified starch in the manufacture of bakery products and extruded food is suggested as a substitute for potato starch.

Keywords: acetylation, potato starch, starch modification, sweet potato starch

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis dengan judul "Modifikasi Pati Ubi Jalar Putih untuk Mendapatkan Karakter Mirip Pati Kentang Melalui Metode Asetilasi". Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah banyak memberi bantuan dan bimbingan dalam penyusunan laporan ini, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr.Ir. Simon Bambang Widjanarko, M.App.Sc, Ibu Dr. Widya Dwi Rukmi Putri, STP., MP, dan Bapak Kiki Fibrianto, STP., M.Phil., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam tesis ini.
2. Ibu Erni Sofia Murtini STP, MP, Ph.D selaku penguji yang senantiasa memberikan saran dan masukan selama perkuliahan dan masa ujian.
3. Bapak Dr.Ir. Aji Sutrisno, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Magister Teknologi Hasil Pertanian
4. Muhammad Iqbal suami tercinta dan Muhammad Hasan Abdullah sebagai putra yang menjadi semangat utama penulis.
5. Bapak H. Muchsin MS, Ibu Hj. Siti Afifah, Bapak Arwan, Ibu Ratna, H. Akhmad Oktavianis Caesar, Alfi Imanuha Choiro, H. Abdullah Taufiq Kharisma, Dzatinnuha, Muhammad Ilham, dan Muhammad Zafran Al-Marzuq yang selalu memberikan doa dan dukungan penuh kepada penulis beserta dengan keluarga besar.
6. Rekan tim Regita Prihatiningtyas dan Irma Nopriyani yang membantu penulis dalam penelitian ini.
7. Jatmiko Eko Witoyo, Luthfa Zahrotun Nisa', Lisa Fitri Rahayu, dan Nissa Clara Firsta sebagai pendukung setia.
8. Mbak Eva, Pak Firman, dan Bu Sunariyati yang membantu dalam proses laporan pendanaan penelitian.
9. Serta seluruh teman-teman Program Magister THP angkatan 2017 dan Program Doktor THP angkatan 2018.

Penulis menyadari penyusunan laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang dapat menunjang akan diterima dengan terbuka. Penulis berharap agar laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Sasaran.....	3
1.5 Manfaat.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Ubi Jalar.....	4
2.2 Kentang.....	7
2.3 Pati.....	10
2.3.1 Amilosa dan Amilopektin.....	18
2.4 Sifat Fisikokimia Pati.....	20
2.4.1 Daya kembang (SP) dan Kelarutan (S).....	21
2.4.2 <i>Water binding capacity</i> (WBC).....	24
2.4.3 Gelatinisasi, Pasting, dan Retrogradasi.....	25
2.4.4 <i>Birefringence</i> dan Suhu Transisi Kaca (<i>Glass Transition Temperature/T_g</i>).....	27
2.5 Modifikasi Pati.....	28
2.5.1 Modifikasi Asetilasi.....	29
III. LANDASAN TEORI DAN KERANGKA PENELITIAN.....	32
3.1 Landasan Teori dan Kerangka Penelitian.....	32
3.2 Hipotesis.....	34
3.3 Kerangka Operasional Penelitian.....	36
IV. METODE PENELITIAN.....	38
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	38
4.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	38
4.2.1 Bahan.....	38
4.2.2 Alat Penelitian.....	39
4.3 Metode Penelitian.....	40
4.4 Pelaksanaan.....	42
4.5 Pengamatan dan Analisis.....	43
4.6 Analisis Data.....	44
4.7 Diagram Alir Penelitian.....	45
4.7.1 Diagram Alir Keseluruhan Penelitian.....	45
4.7.2 Diagram Alir Proses Asetilasi.....	46
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
5.1 Karakteristik Bahan Baku dan Pati Kentang Referensi.....	47
5.2 Penentuan Konsentrasi Natrium Asetat Anhidrat.....	53



5.3 Proses Optimasi Penambahan Natrium Asetat Anhidrat dan Lama Waktu Modifikasi Pati Ubi Jalar Asetilasi 54

5.4 Penentuan Kondisi Optimum Penambahan Natrium Asetat Anhidrat dan Lama Reaksi Modifikasi Pati Ubi Jalar Asetilasi terhadap Respon..... 65

5.5 Verifikasi Hasil Optimasi dengan *Paired t-test* Pati Asetilasi 67

5.6 Analisis Morfologi Pati dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 68

5.7 Analisis Ikatan Antar Atom dengan FTIR 70

5.8 Analisis Sifat Pasting Pati dengan *Rapid Visco Analyzer* (RVA)..... 71

5.9 Karakteristik Fisik dan Kimia Pati Hasil Optimasi Asetilasi 74

VI. PENUTUP 82

6.1 Kesimpulan 82

6.2 Saran 83

DAFTAR PUSTAKA 84

LAMPIRAN 99



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan gizi ubi jalar..... 5

Tabel 2.2 Rangkuman hasil penelitian mengenai karakteristik pati ubi jalar alami 12

Tabel 2.3 Rangkuman hasil penelitian mengenai karakteristik pati kentang alami 14

Tabel 2.4 Perbedaan pati kentang dan pati ubi jalar..... 16

Tabel 2.5 Sifat fisikokimia amilosa dan amilopektin 19

Tabel 2.6 Beberapa karakteristik pati asetilasi 31

Tabel 4.1 Batasan tingkat variabel bebas pada penelitian..... 40

Tabel 4.2 Batasan tingkat variabel terikat pada penelitian..... 41

Tabel 4.3 Rancangan RSM CCD untuk proses asetilasi..... 41

Tabel 4.4 Rancangan uji paired t-test..... 42

Tabel 5.1 Karakteristik kimia dan fisik pati ubi jalar..... 47

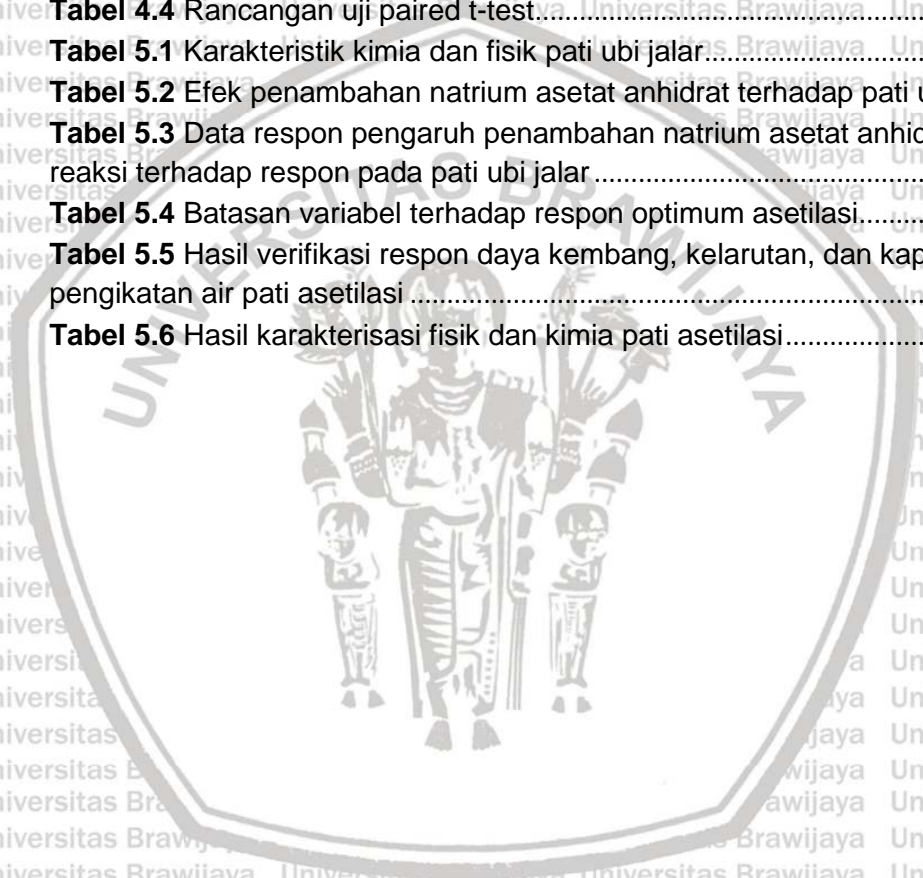
Tabel 5.2 Efek penambahan natrium asetat anhidrat terhadap pati ubi jalar..... 53

Tabel 5.3 Data respon pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon pada pati ubi jalar 55

Tabel 5.4 Batasan variabel terhadap respon optimum asetilasi..... 65

Tabel 5.5 Hasil verifikasi respon daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati asetilasi 67

Tabel 5.6 Hasil karakterisasi fisik dan kimia pati asetilasi..... 74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perkembangan ketersediaan ubi jalar di Indonesia tahun 1993-2020; Keterangan: *)Angka sementara, BKP; **) Estimasi Pusdatin..... 6

Gambar 2.2 Perkembangan harga kentang di Indonesia tingkat produsen dan konsumen Tahun 1983-2011 (Kementerian Pertanian 2013) 7

Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian secara keseluruhan..... 35

Gambar 3.2 Kerangka operasional penelitian secara keseluruhan..... 37

Gambar 4.1 a) Ubi jalar; b) Daging ubi jalar..... 38

Gambar 4.2 Diagram alir penelitian secara keseluruhan..... 45

Gambar 4.3 Diagram alir proses asetilasi..... 46

Gambar 5.1 Grafik normal Plot of Residuals terhadap respon a) daya kembang; b) kelarutan, c) kapasitas pengikatan air 60

Gambar 5.2 Gambar a) 2D dan b) 3D pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon daya kembang; c) 2D dan d) 3D pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon kelarutan; e) 2D dan f) 3D pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon daya kembang..... 61

Gambar 5.3 Kondisi optimum proses asetilasi pati ubi jalar putih berdasarkan faktor a) penambahan natrium asetat anhidrat, b) lama reaksi terhadap respon c) daya kembang, d) kelarutan, e) kapasitas pengikatan air 66

Gambar 5.4 Hasil analisis SEM pati a)Ubi jalar alami (1500x); b) Asetilasi (1800x); c) Kentang alami (1500x). Pengklusteran yang terjadi pada pati asetilasi ditunjukkan oleh lingkaran merah..... 68

Gambar 5.5 Absorbansi spektra IR pati ubi jalar alami, kentang, asetilasi 70

Gambar 5.6 Grafik RVA pati ubi jalar (hijau), pati asetilasi (hitam), dan pati kentang (biru)..... 72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Prosedur analisis..... 99
Lampiran 2 Hasil respon berdasarkan penelitian..... 106
Lampiran 3 Hasil analisis data menggunakan RSM Design Expert..... 116
Lampiran 4 Dokumentasi hasil penelitian..... 132
Lampiran 5 Publikasi..... 134



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pati kentang banyak digunakan dalam industri pangan karena suhu gelatinisasi rendah, konsistensi pasta tinggi, rasa netral, pasta jernih, berwarna putih, kemampuan mengikat, dan kemampuan pengembangan yang lebih tinggi dibanding sereal, serta kecenderungan rendah membentuk *foam* atau *yellowing* pada larutan (Grommers dan van der Krogt 2009; Karim *et al.* 2007; Heo, Lee, dan Chang 2017). Hal ini membuat pati kentang sesuai digunakan untuk sup, daging restrukturisasi (Joly dan Danerstein 2009), mi (Z. Chen, Schols, dan Voragen 2003), *confectionery* (Buwalda 2014), pengisi, *topping*, pengganti lemak, saus, pelapis, pangan bebas gluten (Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017), dan filter serta pembentuk tekstur bakeri dan pastri (Witczak *et al.* 2019). Penggunaan lainnya pada pangan ekstrusi yang butuh sifat *crunchy* dan krispi sebagai hasil dari pengembangan (Van Der Sman dan Broeze 2013).

Indonesia banyak mengimpor pati kentang dengan volume tertinggi sebesar 47,82% dari total impor kentang olahan dengan rata-rata peningkatan 31,59% per tahun (Kementerian Pertanian 2013). Padahal Indonesia memiliki beragam potensi umbi lokal untuk menggantikan kentang, misalnya ubi jalar (*Ipomea batatas L.*). Salah satu penghasil ubi jalar terbesar adalah Indonesia dengan total produksi mencapai 1.806.389 ton tahun 2018 (FAOSTAT 2020). Potensi dan peluang ubi jalar tersebut dapat direalisasikan melalui teknologi produksi guna meningkatkan nilai ekonominya. Penggunaan pati ubi jalar untuk keperluan industri bergantung pada teknologi pemrosesan untuk mempersiapkan pati tersebut sesuai dengan sifat fungsional yang diinginkan.

Pati ubi jalar dapat digunakan untuk menggantikan pati kentang. Perbedaan mendasar keduanya adalah pati ubi jalar memiliki sifat adesif serta ukuran partikel yang lebih kecil dibanding pati kentang (Lim 2016b; Pramodrao dan Riar 2014). Pati kentang juga memiliki transparansi yang lebih baik setelah gelatinisasi. Sedangkan pati ubi jalar mampu membentuk gel lebih kuat dan memiliki suhu gelatinisasi yang lebih tinggi dibandingkan pati kentang. Pati ubi jalar juga memiliki stabilitas pasta yang lebih tinggi dibandingkan pati kentang (Nwokocha *et al.* 2014).

Pati kentang juga menunjukkan daya kembang, kelarutan (Nuwamanya *et al.* 2011), dan kapasitas pengikatan air lebih tinggi dibandingkan pati ubi jalar (Pramodrao dan Riar 2014). Hal ini disebabkan pati kentang memiliki granula pati lebih besar dan fosfor yang lebih tinggi. Kendati demikian, pati alami menunjukkan beberapa kelemahan aplikasi industri. Granula pati alami mudah terhidrasi, cepat membengkak, pecah (*rupture*), viskositas rendah, serta menghasilkan pasta sangat lemah dan kohesif (Sa´nchez-Rivera *et al.* 2005). Modifikasi pati sering digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini.

Beberapa perbedaan pati ubi jalar tersebut dapat diatasi dengan modifikasi pati asetilasi. Asetilasi pati adalah metode modifikasi kimiawi umum yang terjadi karena bagian gugus hidroksil molekul glukosa digantikan oleh gugus asetil menghasilkan struktur molekul pati modifikasi (Lawal 2004). Pati ini diproduksi dengan menggunakan asetat anhidrat dan katalis basa (Bello-pérez *et al.* 2010). Proses asetilasi bergantung pada waktu reaksi, katalis, asal pati, konsentrasi reagen, dan karakteristik struktural granula pati (Singh, Sodhi, dan Singh 2012; Colussi *et al.* 2015).

Asetilasi dapat meningkatkan kekuatan pembengkakan, meningkatkan kapasitas penyerapan air/minyak, meningkatkan kapasitas pembentukan gel dan menurunkan suhu *pasting*, viskositas puncak, viskositas *final*, dan *seatback viscosity*, juga meningkatkan kejernihan pasta (Chibuzo, 2012). Studi pada pati asetilasi jagung, kentang, dan ubi jalar menunjukkan peningkatan daya kembang dan kelarutan (Mbougoung *et al.* 2012; Das *et al.* 2010; Singh, Chawla, dan Singh 2004; Lee dan Yoo 2009). Asetilasi juga dapat meningkatkan kapasitas pengikatan air karena keberadaan gugus substitusi hidrofilik (Betancur, Chel, dan Can 1997; Mbougoung *et al.* 2012).

Modifikasi pati ubi jalar dapat menjadi solusi substitusi pati kentang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat pati ubi jalar modifikasi sebagai substitusi pati kentang. Pengetahuan dan pemahaman yang lebih baik tentang sifat pati ubi jalar dan bagaimana perbandingannya dengan pati kentang diperlukan untuk meningkatkan nilai potensial pati ubi jalar.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana modifikasi pati ubi jalar yang tepat untuk pengembangan substitusi pati kentang dengan karakteristik pati kentang komersial sebagai referensi?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Mengetahui metode modifikasi pati ubi jalar menjadi serupa dengan pati kentang komersial sebagai referensi.
- 2) Menguji, menganalisis, dan mengevaluasi metode modifikasi pati ubi jalar sebagai alternatif substitusi pati kentang komersial.
- 3) Mengetahui pengaruh dan merekomendasikan jumlah penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi modifikasi asetilasi pati ubi jalar terhadap karakteristik pati asetilasi.

1.4 Sasaran

Sasaran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Alternatif pengganti pati kentang impor bagi industri pangan olahan sehingga menurunkan angka ketergantungan impor.
- 2) Meningkatkan nilai ekonomi dan potensial ubi jalar.

1.5 Manfaat

- 1) Memberikan informasi potensi pati ubi jalar sebagai substitusi pati kentang komersial.
- 2) Menemukan sumber bahan pangan lokal yang dapat mensubstitusi pati kentang komersial.
- 4) Menginformasikan metode modifikasi pati ubi jalar sebagai alternatif substitusi pati kentang komersial.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi Jalar

Ubi jalar (*Ipomoea batatas* L (Lam) adalah salah satu jenis umbi tropis yang paling ekonomis, yang dapat tumbuh dalam jumlah besar pada tanah marginal (Lebot 2009). Ubi tersebut merupakan sumber gizi manusia dan hewan yang banyak dimanfaatkan dalam industri manufaktur pati, gula, alkohol, dan sebagainya (Widodo, Wahyuningsih, dan Ueda 2015; El Sheikha dan Ray 2015; Woolfe 1992). Tanaman ini dapat tumbuh di negara tropis maupun subtropis, terutama di negara-negara Asia dan Afrika yang menyumbang sekitar 95% total produksi ubi jalar dunia (El Sheikha dan Ray 2015).

Ubi jalar (*sweet potato*) merupakan kerabat dekat kentang *Solanum tuberosum* dan tidak termasuk dalam famili *Nightsade* yaitu *Solanaceae*, tapi famili tersebut tergolong dalam urutan taksonomi yang sama yaitu *Solanales* (S. Senanayake *et al.* 2013; Zhao *et al.* 2012; Woolfe 1992). Pati ubi jalar memiliki karakteristik mirip dengan pati kentang (FAO 1990).

Dalam budidaya *Ipomoea batatas* termasuk tanaman palawija yang membentuk umbi dalam tanah. Klasifikasi ubi jalar (Bartolini 1985; Sia Morhardt 2004) adalah sebagai berikut:

Kingdom	:	Plantae
Divisio	:	Spermatophyta
Sub divisio	:	Angiospermae
Kelas	:	Dicotyledonae
Ordo/Bangsa	:	Solanales
Famili/Suku	:	Convolvulaceae
Genus/Marga	:	<i>Ipomoea</i>
Spesies/Jenis	:	<i>Ipomoea batatas</i> L.

Varietas ubi jalar di dunia diperkirakan berjumlah lebih dari ribuan jenis, namun masyarakat awam pada umumnya mengenal ubi jalar berdasarkan warna umbinya. Secara umum terdapat tiga jenis umbi berdasarkan warnanya, yaitu warna putih, kuning, merah hingga keunguan (ILO 2012).

Kulit ubi jalar maupun dagingnya mengandung pigmen karotenoid dan antosiannin yang menentukan warnanya. Komposisi dan intensitas yang berbeda dari kedua zat kimia tersebut menghasilkan warna pada kulit dan daging ubi jalar

(Woolfe 1992). Dari sisi umurnya, ada ubi jalar yang berumur pendek (dapat dipanen pada usia 4–6 bulan) dan ada yang berumur panjang (baru dapat dipanen setelah 8–9 bulan). Di Indonesia terdapat sekitar 23 varietas yang sudah dilepas atau diperkenalkan untuk budidaya oleh Kementerian Tanaman Pangan hingga 2012 (ILO 2012). Kandungan gizi ubi jalar segar adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kandungan gizi ubi jalar

Kandungan gizi	Jenis ubi jalar		
	Putih	Kuning	Merah/Ungu
Energi (kkal)	123	114	123
Protein (gram)	1,80	0,80	1,80
Lemak (gram)	0,70	0,50	0,70
Karbohidrat (gram)	27,90	26,70	27,90
Kalsium (mg)	30	51	30
Zat Besi (mg)	1	0,90	1
Vit A (IU)	60	0	7700
Vit B1 (mg)	0,09	0,06	0,09
Vit C (mg)	28,68	29,22	21,43
Betakaroten (µg)	260	2900	9900
Antosianin (mg)	0,06	4,56	110,51
Serat kasar (%)	0,90	1,40	1,20
Kadar gula (%)	0,40	0,30	0,40
Air (%)	68,50	79,28	68,50
Bagian yang dikonsumsi (%)	86	85	86

Sumber: ILO (2012)

Indonesia dalam perdagangan dunia pada 2011 menduduki urutan ke tujuh terbesar sebagai eksportir ubi jalar dunia. Pada tahun 2012 ekspor ubi jalar Indonesia nilainya meningkat 61% dan volumenya meningkat 36 persen.

Produktivitas ubi jalar Indonesia 13,93 ton per hektar, di atas rata-rata produktivitas dunia. Produksi ubi jalar Cina, India, Jepang dan Filipina terus menerus turun.

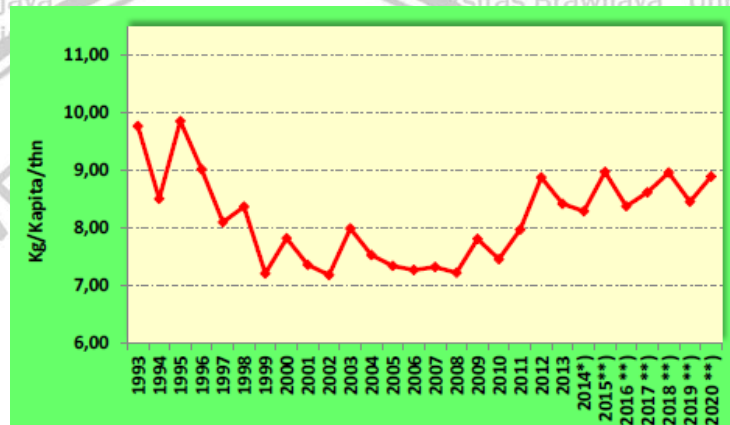
Sebaliknya produksi Indonesia tumbuh terus, walaupun angka pertumbuhannya kecil. Negara tujuan ekspor ubi jalar Indonesia adalah Malaysia (39 persen), Jepang (32 persen), Singapura (20 persen), Korea (7 persen), Cina (2 persen) dan Thailand (1 persen) (ILO 2012).

Produktivitas ubi jalar di Indonesia selama 1995-2016 cenderung mengalami peningkatan, pertumbuhan rata-rata selama periode tersebut sebesar 2,81% per tahun, dimana produktivitas tahun 1995 sebesar 95,00 ku/ha menjadi 168,18 ku/ha pada tahun 2016. Perkembangan produktivitas selama lima tahun terakhir meningkat sebesar 4,83%. Volume ekspor ubi jalar tahun 2003-2016 rata-

rata meningkat sebesar 91,47% per tahun, demikian halnya dengan nilai ekspornya yang meningkat sebesar 108,35% per tahun.

Ekspor ubi jalar Indonesia adalah dalam bentuk ubi jalar beku dan ubi jalar selain beku di ekspor terutama ke Malaysia, Jepang, Korea dan dan Singapore.

Perkembangan volume impor ubi jalar pada periode 2003-2016 sebesar 117,86% per tahun, lebih tinggi dari pertumbuhan nilai impor ubi jalar yakni sebesar 108,59% per tahun. Impor ubi jalar Indonesia umumnya dalam bentuk pati ubi jalar dan beku terutama berasal dari Cina dan Singapore (Kementerian Pertanian 2016).

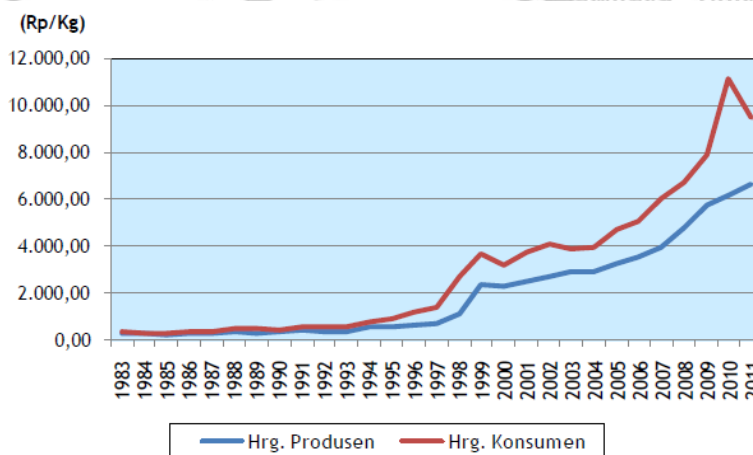


Gambar 2.1 Perkembangan ketersediaan ubi jalar di Indonesia tahun 1993-2020; Keterangan: *)Angka sementara, BKP; **) Estimasi Pusdatin

Prediksi ketersediaan ubi jalar selama tahun 2015 hingga tahun 2020, diperkirakan akan mengalami kenaikan sebesar 1,60% atau mencapai rata-rata ketersediaan perkapita ubi jalar 8,65 kg/kapita/tahun. Perkembangan harga produsen ubi Jalar di Indonesia tahun 2002-2015 cenderung meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata sebesar 17,06% per tahun. Keragaman harga produsen tahun 2002 sebesar Rp. 61.019 per 100 kg dan terus mengalami kenaikan hingga Rp 378.048 per 100 kg di tahun 2015. Selama kurun waktu tersebut terjadi peningkatan pertumbuhan harga yang cukup tinggi pada tahun 2007 sebesar 34,31% menjadi Rp 100.175 dan kenaikan tertinggi 2008 sebesar 97,32% menjadi Rp 197.666 (Kementerian Pertanian 2016).

2.2 Kentang

Salah satu tanaman hortikultura yang memiliki peluang untuk memenuhi kebutuhan pangan adalah kentang (*Solanum tuberosum* L.). Tanaman kentang memiliki potensi dan prospek yang baik untuk mendukung program diversifikasi dalam rangka mewujudkan ketahanan pangan berkelanjutan (Thiele, Hareau, dan Bonierbale 2008). Kentang termasuk famili *Solanaceae* dan merupakan salah satu komoditas sayuran yang banyak mendatangkan keuntungan bagi petani, mempunyai dampak baik dalam pemasaran dan ekspor, tidak mudah rusak seperti sayuran lain, dan merupakan sumber kalori, protein dan juga vitamin (Kementrian Pertanian 2013).



Gambar 2.2 Perkembangan harga kentang di Indonesia tingkat produsen dan konsumen Tahun 1983-2011 (Kementrian Pertanian 2013)

Data harga kentang di Indonesia yang berasal dari BPS menunjukkan baik harga di tingkat produsen maupun konsumen pada periode 1983-2011 mengalami peningkatan. Harga kentang di tingkat produsen mengalami pertumbuhan 14,08% per tahun, sementara harga di tingkat konsumen tumbuh sebesar 14,14% per tahunnya. Peningkatan harga kentang diduga karena meningkatnya konsumsi atau permintaan kentang di Indonesia. Karena kentang saat ini tidak hanya dikonsumsi sebagai sayuran tetapi juga sebagai makanan olahan lainnya seperti keripik kentang dan kentang goreng atau yang biasa dikenal dengan nama french fries. Hal ini disebabkan berubahnya gaya hidup modernisasi masyarakat Indonesia (Kementrian Pertanian 2013).

Volume impor kentang olahan (tepung, serpih, pati kentang, kentang diawetkan dengan cuka, kentang iris dan potongan dalam kemasan kedap udara, kentang iris, potongan lain-lain, dan kentang selain iris dalam kemasan kedap udara) Indonesia jauh lebih besar dibandingkan volume ekspor kentang olahan. Perkembangan volume impor kentang olahan Indonesia memiliki tren yang meningkat setiap tahunnya selama periode 2000-2012, dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 31,59% per tahun. Volume impor kentang olahan tertinggi terjadi pada tahun 2012 sebesar 57.940 ton atau naik sebesar 143,16% dari sebesar 23.828 ton pada tahun 2011. Volume Impor kentang olahan tertinggi pada tahun 2012 berasal dari pati kentang sebesar 47,82% dari total impor kentang olahan Indonesia atau sebesar 27.708 ton (Kementerian Pertanian 2013).

Impor kentang segar dan olahan Indonesia berasal dari Beldana, Amerika, Australia, Kanada, dan Cina dengan masing-masing volume impor sebesar 26.902 ton, 18.638 ton, 15.202 ton, 13.513 ton dan 11.491 ton. Terjadi tren peningkatan permintaan terhadap kentang segar maupun kentang olahan dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 31,59%. Produk kentang olahan yang diimpor terbesar adalah pati kentang yang banyak digunakan untuk industri (Kementerian Pertanian 2013).

Pati kentang merupakan sumber pati terbesar kedua. Namun, dukungan kuat pada sektor gandum telah mengakibatkan penurunan produksi pati kentang di Eropa. Akibatnya harga pati kentang menjadi lebih tinggi dibanding pati lainnya. Sebagai perbandingan kasar, menurut International Starch Trading Bulletin pada 2003 harga pati kentang Inggris adalah 280/t USD, pati jagung Amerika 270/t USD, pati ubi kayu India 200/t USD, dan pati sagu Indonesia 200/t USD. Sedangkan pada 2015, harga pati kentang India mencapai 850/t USD. Kendati demikian, negara-negara Eropa masih bertanggungjawab terhadap 80% total produksi pati kentang dunia. Terjadinya kenaikan harga pati di pasar internasional salah satunya adalah karena naiknya permintaan akan jagung untuk diolah menjadi etanol (Bertolini 2010).

Pati kentang tersusun atas granula besar berbentuk oval dengan ukuran berkisar antara 5-100 μm . Granula pati kentang termasuk berukuran terbesar dibanding pati lainnya menghasilkan kemampuan menyerap air yang lebih besar dan pembentukan tekstur yang lebih baik (Nwokocha *et al.* 2014; Singh, Kaur, dan McCarthy 2007). Pati kentang mengandung sangat sedikit protein dan lemak yang menjadikannya berwarna putih jernih, memiliki rasa netral, transparan,

kemampuan pengikatan yang kuat, dan kecenderungan membentuk busa atau menguning pada larutan yang rendah. Kandungan fosfat pati kentang juga menyebabkan pati kentang memiliki viskositas yang tinggi, suhu gelatinisasi yang rendah, dan SP yang tinggi (Heo, Lee, dan Chang 2017; Azhar dan Hamdy 1979; Q. Liu et al. 2003; Lebot 2009). Sifat ini banyak dimanfaatkan dalam aplikasi pangan maupun nonpangan.

Penggunaan pati kentang sangat luas dan dapat digunakan untuk menggantikan beragam pati, misalnya sebagai pengikat air, pengental, ingridien anti *caking*, ingridien *bulking*, dan perekat. Penggunaannya paling populer banyak dimanfaatkan pada industri daging, bakeri, *confectionery*, dan *dry blends*. Pati kentang dan turunannya banyak digunakan untuk resep pembuatan mi, chip kentang, saus, krim bakeri, sup instan, dan beragam pangan kosher (Castanha et al. 2018; M. Kaur et al. 2011; Nwokocha et al. 2014). Penggunaan pati kentang pada sponge cake menyebabkan tekstur cake yang *moist* dan lembut. Pati kentang juga digunakan untuk *pre-packed grated cheese* untuk menahan air.

Pati kentang berbeda dengan tepung kentang. Pati kentang dihasilkan dari proses bertahap untuk mengekstrak pati dari kentang, sedangkan tepung kentang dasarnya hanya kentang kering yang dihaluskan. Pati dan tepung kentang juga digunakan untuk resep yang berbeda dan memiliki rasa yang berbeda. Pati kentang tidak memiliki rasa, sedangkan tepung kentang memiliki rasa serupa dengan kentang. Pati kentang memiliki tekstur mirip dengan pati jagung, sementara tepung kentang memiliki berat dan serupa dengan terigu. Pati kentang digunakan untuk *baking* dan sebagai pengental pada beragam resep, sedangkan tepung kentang digunakan untuk menggantikan terigu.

Pati kentang Indonesia diimpor dari Eropa, Amerika, atau Cina dan banyak diaplikasikan di industri dalam negeri. Indonesia banyak mengimpor pati kentang dengan volume tertinggi sebesar 47,82% (27,708 ton) dari total impor kentang olahan dengan rata-rata peningkatan 31,59% per tahun (Kementerian Pertanian 2013). Pati kentang berkontribusi pada industri pangan olahan yang mempengaruhi devisa ekspor dengan nilai mencapai USD 1,64 miliar 2014. Padahal industri pangan olahan nasional terus meningkat secara signifikan mencapai 12,69% tahun 2014 (Kementerian Perindustrian 2016), sehingga kebutuhan pati kentang juga meningkat.

Pada 2012, volume impor kentang olahan tertinggi bahkan berasal dari pati kentang sebesar 47,82% dari total impor kentang olahan (Kementerian Pertanian

2013). Aplikasi di bidang pangan pati kentang sangat luas, di antaranya sebagai bahan baku pembuatan roti yang lembut dan pengental saus yang unggul karena tidak menggumpal dan mempengaruhi rasa (Bertolini 2010). Namun, pati kentang di Indonesia tidak sepopuler pati lain karena berbagai faktor, salah satunya harga. Harga pati kentang di pasar Indonesia dapat mencapai Rp45.000/kg sementara pati lainnya, misalnya jagung hanya berkisar Rp10.000-Rp15000/kg (Jungjunan 2016).

2.3 Pati

Pati adalah salah satu biopolimer paling melimpah dan berfungsi sebagai cadangan energi di banyak tanaman termasuk sereal, umbi, akar, buah dan biji.

Molekul pati adalah polimer dari unit glukosa anhidrat yang biasanya terakumulasi dalam granula. Granula dapat bervariasi dalam bentuk, ukuran, struktur dan komposisi kimia berdasarkan sumber pati diperoleh (Svihus, Uhlen, dan Harstad 2005). Granula pati umumnya ditemukan pada akar, biji, umbi, daun, batang, buah dan bahkan serbuk sari, misalnya biji jagung mengandung hingga 75% pati. Granula terjadi dalam berbagai bentuk dan ukuran (bola, poligon, ellipsoid, trombosit dan tubulus tidak teratur). Bergantung pada asalnya, granula memiliki diameter mulai dari 0,1 sampai 200 μm (Gallant *et al.* 1972; Hoover, R & Sosulski 1986; Srichuwong *et al.* 2005; Richard F Tester, Karkalas, dan Qi 2004).

Granula pati terdiri dari 90% polisakarida dan 10% air, serta *trace elements* seperti lipid dan protein (Hua Liu, Lelievre, dan Ayoung-chee 1991). Dua komponen polisakarida pati terbesar yang dapat diekstraksi adalah amilosa yang merupakan glukukan berikatan α -(1-4) glukukan dan α -(1-4) amilopektin bercabang glukukan. Amilosa memiliki kecenderungan untuk terretrogradasi dan menghasilkan *film* yang kuat dan gel yang keras. Di sisi lain, amilopektin lebih stabil dan menghasilkan *film* lemah dan gel lunak saat dilarutkan dalam air (Svihus, Uhlen, dan Harstad 2005). Pembentukan ikatan mungkin terjadi antara amilosa dan amilopektin secara bersamaan dengan adanya komponen minor seperti protein dan lipid dan semua ini dapat mempengaruhi sifat fisikokimia pati yang berbeda tergantung pada sumber pati (Bello-pérez *et al.* 2010; Tester, Karkalas, dan Qi 2004).

Bagian amorf dari granula pati lebih mudah terdegradasi oleh hidrolisis asam, sedangkan α -amilase dapat melarutkan baik daerah kristal maupun amorf (Tester, Qi, dan Karkalas 2006). Pati diyakini mempengaruhi viskositas,

adhesivitas, tekstur, pengikatan, pembentukan gel, pembentukan *film*, dan retensi kelembaban. Hal ini terutama digunakan dalam produk roti, makanan ringan, adonan, pelapis, produk daging, saus, dan permen susu. Aplikasi non pangannya dapat digunakan dalam industri tekstil, bahan bakar berbasis alkohol, perekat, dan obat-obatan. Sedangkan aplikasi terbaru meliputi bahan kemasan *biodegradable*, substitusi pangan rendah kalori, bahan termoplastik dengan sifat termal dan mekanik yang ditingkatkan, dan *film* tipis (Karapantsios 2006; Visavarungroj, N.; Remon 1991; Julianti *et al.* 2017; Widodo, Wahyuningsih, dan Ueda 2015; Bertolini 2010).

Faktor utama yang mempengaruhi sifat fungsional pati adalah ukuran dan bentuk granula, kristalinitas pati, rasio amilosa-amilopektin, *packing density*, keberadaan lipid, granula pati terenkapsulasi, daya kembang dan kelarutan, gelatinisasi, retrogradasi, dan sifat reologi (J Jane 1995; Schirmer, Jekle, dan Becker 2015).

Ubi jalar kaya dengan pati (58-76% pada basis kering) dan pati nya memiliki sifat yang agak mirip dengan pati kentang dan telah banyak digunakan dalam mie, roti, makanan ringan, dan produk permen (Gunartne dan Corke 2007). Pati ubi jalar memiliki dua komponen utama: amilosa dan amilopektin. Polimer ini sangat berbeda secara struktural, Amilosa adalah polimer linier α -glukan yang relatif panjang yang mengandung 99% ikatan α -(1 \rightarrow 4) dan 1% α -(1 \rightarrow 6). Sementara amilopektin adalah molekul yang jauh lebih besar dan struktur bercabang yang terdiri dari sekitar 95% ikatan α -(1 \rightarrow 4) dan 5% α -(1 \rightarrow 6). Struktur-struktur polimer ini memainkan peran penting dalam fungsi pati alami (*native*) dan modifikasi (Mweta dan Bonnet 2009).

Pengembangan produk pangan berbasis pati perlu memperhatikan sifat fisikokimia pati sebagai komponen utama dalam memprediksi sifat yang akan dihasilkan oleh kondisi proses (Chen *et al.* 2003). Pati ubi jalar memiliki kandungan yang mirip dengan biopolimer yang terdiri dari anhidroglukosa yang menjadi cadangan energi pada tanaman. Pati ubi jalar terdiri dari amilosa dan amilopektin yang memiliki tipe-A (*swelling* tinggi) dan memiliki granula berukuran medium dengan bentuk oval (Morthy 2002).

Pati ubi jalar banyak dimanfaatkan dalam pembuatan mi, cake, roti, biskuit, minuman alkohol maupun non alkohol, puding, dan produk permen. Aplikasi pati pada sistem pangan sangat dipengaruhi oleh sifat gelatinisasi, pembentukan

pasta, kelarutan, pembengkakan, warna, dan pencernaan (Adebowale dan Lawal 2002). Berikut ini karakteristik pati ubi jalar alami.

Tabel 2.2 Rangkuman hasil penelitian mengenai karakteristik pati ubi jalar alami

Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Fosfor (%)	Amilosa (%)	Daya kembang (%)	Kel. arutan (%)	Kap. Pengikatan air (%)	Granula	Referensi
12,03	0,11	0,02	27,70				1,17-27 µm	(Nwokocha et al. 2014)
9,33	0,28			8,85	0,828			(Nuwamanya et al. 2011)
				21,5	7,8	78,1		(M. Kaur et al. 2011)
10,48	2,35			3,49	16,13	278,12		(Iheagrawa 2013)
				30,6	23,7			(H. L. Lee dan Yoo 2011)
8,0-12,4	0,1-0,5		12,8-21,3	7,8-27,8	1,5-9,5			(Aina et al. 2012)

Pati kentang lebih disukai daripada pati jagung maupun pati lainnya untuk aplikasi industri karena sifatnya yang sesuai untuk penggunaan industri. Karakteristik pati kentang yang diinginkan adalah a) konsistensi yang tinggi saat *pasting* diikuti dengan penurunan viskositas pada pemanasan dan agitasi berlanjut, b) pembentukan *film* yang fleksibel dan unggul, c) kemampuan mengikat, dan d) suhu gelatinisasi yang rendah. Pasta pati kentang bersifat *electroviscous* sehingga pati menjadi lebih sensitif terhadap konsentrasi kecil dari elektrolit tambahan. Dengan demikian, pati kentang menunjukkan viskositas lebih tinggi pada air suling daripada pada air keras yang mengandung sejumlah garam kalsium atau larutan garam (Whistler dan Daniel 1984; Bertolini 2010).

Pati kentang digunakan dalam pembuatan mi, gum wine, krim, instan sup dan saus, resep gluten free (Fenster 2010), pangan kosher (Blech 2006), dan masakan Asia (Shimbo 2000). Dalam pembuatan pastri, misalnya kue spons, pati kentang digunakan untuk menjaga cake tetap *moist* dan memberi tekstur yang lembut. Pati kentang juga digunakan untuk persiapan sebelum pengemasan keju parut untuk mengurangi penguapan dan mengikat air. Contoh lainnya adalah

pembuatan helmipuuro, bubur yang dibuat dengan biji-bijian yang dilarutkan pada pati kentang dan susu.

Pati kentang tersusun atas granula besar berbentuk oval dengan ukuran berkisar antara 5-100 μm . Granula pati kentang termasuk berukuran terbesar dibanding pati lainnya menghasilkan kemampuan menyerap air yang lebih besar dan pembentukan tekstur yang lebih baik (Nwokocha *et al.* 2014; J. Singh, Kaur, dan McCarthy 2007). Pati kentang mengandung sangat sedikit protein dan lemak yang menjadikannya berwarna putih jernih, memiliki rasa netral, transparan, kemampuan pengikatan yang kuat, dan kecenderungan membentuk busa atau menguning pada larutan yang rendah. Kandungan fosfat pati kentang juga menyebabkan pati kentang memiliki viskositas yang tinggi, suhu gelatinisasi yang rendah, dan SP yang tinggi (Heo, Lee, dan Chang 2017; Azhar dan Hamdy 1979; Q. Liu *et al.* 2003; Lebot 2009). Sifat ini banyak dimanfaatkan dalam aplikasi pangan maupun nonpangan.

Penggunaan pati kentang sangat luas dan dapat digunakan untuk menggantikan beragam pati, misalnya sebagai pengikat air, pengental, ingredien anti *caking*, ingredien *bulking*, dan perekat. Penggunaannya paling populer banyak dimanfaatkan pada industri daging, bakeri, *confectionery*, dan *dry blends*. Pati kentang dan turunannya banyak digunakan untuk resep pembuatan mi, chip kentang, saus, krim bakeri, sup instan, dan beragam pangan kosher (Castanha *et al.* 2018; Kaur *et al.* 2011; Nwokocha *et al.* 2014). Penggunaan pati kentang pada sponge cake menyebabkan tekstore cake yang *moist* dan lembut. Pati kentang juga digunakan untuk *pre-packed grated cheese* untuk menahan air.

Industri kertas juga banyak menggunakan pati kentang. Hal ini disebabkan oleh berat molekulnya yang besar, kandungan amilosanya, dan kelarutannya yang baik (Grommers dan van der Krogt 2009). Pati kentang juga disukai di industri tekstil karena sifat pembentukan film dan adesivitas. Kandungan fosfat yang tinggi pada pati kentang memberikan efek flokulasi khusus yang juga menguntungkan di industri pertambangan dan pengolahan air. Ukuran granula yang besar menyebabkan pati kentang juga lebih disukai sebagai *precoat* pada filter (Grommers dan van der Krogt 2009). Pati kentang mengandung sekitar 800 ppm fosfat terikat yang menyebabkan peningkatan viskositas dan membuat larutan bersifat sedikit anion, serta suhu gelatinisasi yang rendah (berkisar pada 60°C) (Shiotsubo 1983) dan daya kembang yang tinggi (BeMiller dan Whistler 2009).

Sifat-sifat tersebut menyebabkan pati kentang banyak digunakan di industri pangan dan industri teknis lainnya.

Pati kentang berbeda dengan tepung kentang. Pati kentang dihasilkan dari proses bertahap untuk mengekstrak pati dari kentang, sedangkan tepung kentang dasarnya hanya kentang kering yang dihaluskan. Pati dan tepung kentang juga digunakan untuk resep yang berbeda dan memiliki rasa yang berbeda. Pati kentang tidak memiliki rasa, sedangkan tepung kentang memiliki rasa serupa dengan kentang. Pati kentang memiliki tekstur mirip dengan pati jagung, sementara tepung kentang memiliki berat dan serupa dengan terigu. Pati kentang digunakan untuk *baking* dan sebagai pengental pada beragam resep, sedangkan tepung kentang digunakan untuk menggantikan terigu. Berikut ini adalah karakteristik pati kentang.

Tabel 2.3 Rangkuman hasil penelitian mengenai karakteristik pati kentang alami

Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Fosfor (ppm)	Amilosa (%)	SP (%)	S (%)	WBC (%)	Granula	Referensi
	0,06-0,45		15-23,1	29, 27-48, 61	4,1 7-36, 98		0,06-0,45%	(Lim 2016a)
14,64	0,11	0,07 (%)	25,08				1,37-28,58 μ m	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
13,67	0,26			10, 13	0,8 3			(Nuwamanya <i>et al.</i> 2011)

Pati kentang memiliki suhu gelatinisasi lebih rendah dari pati lainnya, viskositas puncak yang jauh lebih tinggi dan sedikit ketahanan terhadap kerusakan pada pemanasan yang berkepanjangan. Pasta sangat jernih, dengan sedikit kecenderungan untuk berretrogradasi (IST 2009). Kandungan fosfor dapat meningkatkan *swelling power*, *peak viscosity*, dan *breakdown* pati. Parameter lain seperti kandungan amilosa, ukuran granula, dan entalpi gelatinisasi tidak dipengaruhi oleh substitusi fosfat pati (Lim 2016).

Perbedaan mendasar pati kentang dan pati ubi jalar adalah kentang memiliki granula pati yang lebih besar, daya kembang lebih tinggi, suhu gelatinisasi lebih rendah, jumlah leaching amilosa lebih tinggi, dan jumlah fosfor lebih tinggi dan kandungan amilosa lebih rendah daripada pati ubi jalar. Pati ubi

jalar menunjukkan suhu *pasting* yang lebih tinggi, stabilitas pasta yang lebih tinggi, dan *seataback ratio*, dan stabilitas yang lebih besar terhadap *shear force* dibandingkan pati kentang. Selain itu pati kentang memiliki kejernihan pasta yang lebih tinggi dan sineresis lebih rendah dibanding pasta pati ubi jalar. Pati kentang sesuai digunakan sebagai pengental, sementara pati ubi jalar lebih tahan terhadap kondisi pemrosesan (Lim 2016). Berikut ini beberapa perbedaan pati kentang dan pati ubi jalar.



Tabel 2.4 Perbedaan pati kentang dan pati ubi jalar

Parameter	Literatur			
	Pati kentang	Referensi	Pati ubi Jalar	Referensi
Kadar air (%)	15,72; 14,64	(Zaidul <i>et al.</i> 2007); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	8-12,4	(Aina <i>et al.</i> 2012)
Kadar abu (%)	0,31; 0,11; 0,30-0,43	(Wootton dan Bamunuarachchi 1978); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Meiss, Treadway, dan Smith 1944)	0,1-0,5	(Aina <i>et al.</i> 2012)
Kadar lemak	0,23	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	0,14-0,21%	(Mu <i>et al.</i> 2017)
Kadar protein (%)	0,188-0,250	(Hemar <i>et al.</i> 2007)	0,1-0,23	(Mu <i>et al.</i> 2017)
Kadar fosfor (%)	0,01-0,6; 0,075; 0,07; 304-1244 (ppm); 507-931,5 (ppm); 500-1132 (ppm)	(Qiang Liu <i>et al.</i> 2009); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda <i>et al.</i> 2007); (Hemar <i>et al.</i> 2007); (Noda 2010)	0,014-0,022; 0,02; 156-231 (ppm)	(Zhenghong Chen 2003) (Biliaderis, Maurice, dan Vose 1980); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda 2010)
pH	4,67-8,37	(Meiss, Treadway, dan Smith 1944)		
Daya kembang (g/g)	28,0-31,4	(Kaur, Singh, dan Singh 2004)	7,8-27,7; 32,3-50	(Aina <i>et al.</i> 2012; Mu <i>et al.</i> 2017)
Kelarutan (%)	3,2-6,1	(Kaur, Singh, dan Singh 2004)	1,5-8,7; 1,5-13,65	(Aina <i>et al.</i> , 2012); (Mu <i>et al.</i> , 2017)
Kapasitas pengikatan air (%)	91,6	(Singh, Chawla, dan Singh 2004)	78,1	(M. Kaur <i>et al.</i> 2011)
Derajat kecerahan	82,68-83,08	(Sari, Nurhayati, dan Djumarti 2013)	73,86-83,27	(Muhdanri <i>et al.</i> 2015)
Kadar amilosa (%)	52,2; 20,1; 18,4-26,2; 17,03-25,12; 15,4-25,5	(Boediono 2012); (Biliaderis, Maurice, dan Vose 1980); (Noda <i>et al.</i> 2007); (Hemar <i>et al.</i> 2007); (Noda 2010)	12,8-21,3; 34,71-39,00; 15,3-28,8; 27,70; 16,2-23,4	(Aina <i>et al.</i> , 2012); (Ginting <i>et al.</i> , 2005); (Mu <i>et al.</i> , 2017); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda 2010)
Kadar pati Kristalinitas (%)	81,87-82,09 28	(Martunis 2012)	89,76-94,56 38	(Ginting <i>et al.</i> 2005) (Mu <i>et al.</i> 2017)
Bentuk	Besar, bervolume, oval; granula kecil berbentuk sphere atau oval, granula besar berbentuk elips atau kuboid atau tidak beraturan	(Qiang Liu <i>et al.</i> 2009); (J. Singh <i>et al.</i> 2016)	poligonal or sirkular, oval, dan bell shaped	(Mu <i>et al.</i> 2017)
Distribusi ukuran partikel (µm)	6,35-64; 15-110	(Hoover dan Hadziyev 1981); (Noda 2010)	3,4-27,5; 2-42	(Mu <i>et al.</i> 2017); (Noda 2010)

Rata-rata ukuran partikel (μm)	28,85; 28,5-41,7; 14,0-44,7; 1-20 small, 20-110 large	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda <i>et al.</i> 2007); (Noda 2010); (J. Singh <i>et al.</i> 2016)	8,4-15,6; 9,15; 14,5-20,6; 5-25	(Mu <i>et al.</i> 2017); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda 2010); (Jay-lin Jane <i>et al.</i> 1994)
Max diameter (μm)	47	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	27	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
Min diameter (μm)	13,39	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	2	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
Length/diameter (L/D)	1,37	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	1,17	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
Roundness	0,68	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	0,77	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
Particle number	97	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	97	(Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
T _{onset} ($^{\circ}\text{C}$)	55; 61,3; 62,3-66,8; 62,95-66,50	(Biliaderis, Maurice, dan Vose 1980); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda <i>et al.</i> 2007); (Hemar <i>et al.</i> 2007)	66,2-71,3; 72,8	(Mu <i>et al.</i> 2017); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
T _{peak} ($^{\circ}\text{C}$)	60; 64,2; 65,2-70,1; 77,45-95,03;	(Biliaderis, Maurice, dan Vose 1980); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda <i>et al.</i> 2007); (Hemar <i>et al.</i> 2007)	69,5-79,78; 74,9;	(Mu <i>et al.</i> 2017); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
T _{end} ($^{\circ}\text{C}$)	68; 67,0	(Biliaderis, Maurice, dan Vose 1980); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014)	75,29-88,5; 76,6	(Mu <i>et al.</i> 2017); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
ΔH (J/g)	4,4; 14,35; 18,7-22,3	(Biliaderis, Maurice, dan Vose 1980); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014); (Noda <i>et al.</i> 2007)	7,8-15,5; 11,85	(Mu <i>et al.</i> 2017); (Nwokocha <i>et al.</i> 2014)
Sifat pasta				
Peak viscosity (RVU)	191-434; 225-383	(Noda <i>et al.</i> 2007); (Karim <i>et al.</i> 2007)	143-469	(Mu <i>et al.</i> 2017)
Breakdown viscosity (RVU)	86-303; 123-271	(Noda <i>et al.</i> 2007); (Karim <i>et al.</i> 2007)	29,4-255	(Mu <i>et al.</i> 2017)
Stickiness	Lebih besar	(Doing 2020)	Lebih kecil	(Doing 2020)
Transpansi setelah gelatinisasi	Lebih besar	(Doing 2020)	Lebih kecil	(Doing 2020)
Fungsi <i>gelling</i>	Lebih kecil	(Doing 2020)	Lebih besar	(Doing 2020)

Viskositas, ketahanan geser (*shear resistance*), gelatinisasi, kelarutan, stabilitas gel, dan retrogradasi adalah beberapa sifat fungsional yang tergantung pada rasio amilosa/amilopektin dari pati (Tziotis *et al.* 2005; Chakraborty *et al.* 2004). Dalam bahan pangan, pati digunakan untuk mempengaruhi atau mengendalikan karakteristik seperti estetika, kelembaban, konsistensi dan stabilitas bahan pangan. Pati dapat digunakan untuk mengikat, memperluas, memadatkan, memperjelas atau mengaburkan, menarik atau menghambat kelembaban (Nabubuya *et al.* 2017; Moore *et al.* 1984; Widodo, Wahyuningsih, dan Ueda 2015; S. A. Senanayake *et al.* 2013). Kendati demikian, pati alami menunjukkan beberapa kelemahan tertentu dalam aplikasi industri.

Granula pati alami terhidrasi dengan mudah, membengkak dengan cepat, pecah, viskositas rendah, menghasilkan pasta sangat lemah dan kohesif, kelarutan yang rendah, serta memiliki ketahanan terhadap proses yang rendah (Chi *et al.* 2008; Fellows 2000; Moore *et al.* 1984; Das *et al.* 2010). Modifikasi pati sering digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini. Dalam modifikasi, pati dibuat khusus untuk memenuhi kebutuhan spesifikasi produk akhir, sehingga menimbulkan berbagai macam produk khusus. Modifikasi pati adalah proses mengubah struktur pati dengan mempengaruhi ikatan hidrogen dengan cara yang dapat dikontrol. Biasanya, modifikasi pati dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti fisik, kimia, enzimatis, atau transformasi genetik (Yiu *et al.* 2008; Singh, Kaur, dan McCarthy 2007b; Abbas, Khalil, dan Hussin 2010).

2.3.1 Amilosa dan Amilopektin

Stabilitas, transformasi, dan sifat fisik pati sangat tergantung pada faktor internal dan eksternal. Faktor internal dipengaruhi oleh sumber botani (termasuk sifat struktur pati amorf dan kristalin). Pati dengan tipe botani berbeda juga memiliki variasi ukuran (diameter berkisar antara 0,1 – 200 μm), morfologi (elips, oval, spheric, polygonal, elongated, tak beraturan, lenticular, dan piringan), distribusi ukuran (uni-, bi-, atau polimodal), dan keadaan di amiloplas (individually atau sebagai senyawa) (Jane *et al.* 1994; Pérez dan Bertoft 2010)

Faktor eksternal dipengaruhi oleh daerah penanaman dan iklim (Bemiller 2011). Pati terdiri dari bagian semikristalin yang terdiri dari daerah mikrokristalin yang berinteraksi dengan bagian amorf dengan rantai yang fleksibel. Granula pati mengandung banyak komponen yang dapat dibagi menjadi komponen mayor dan

minor (P. Chen *et al.* 2009; Richard F Tester, Karkalas, and Qi 2004). Komponen mayor pati terdiri dari amilosa dan amilopektin yang menyusun 98-99% berat kering pati. Keduanya merupakan gugus anhidroglukosa dan rantainya dapat digambarkan sebagai $(C_6H_{12}O_6)_n$. Sementara variabel (dalam panjang) tergantung pada distribusi polimer yang berbeda. Rasio dua molekul pati juga konfigurasi molekulnya sangat dipengaruhi oleh sifat produk (Blazek dan Copeland 2008). Amilosa terletak di daerah amorf dan semikristalin, sementara amilopektin terdapat pada daerah kristalin (Jane dan Shen 1993). Granula pati menunjukkan derajat kristalinitas yang bervariasi dari 15-45% (Zobel, Argo, dan Illinois 1988).

Kelompok kedua merupakan komponen mikro yang terdiri dari protein, lipid, pentosa, dan mineral (misalnya fosfor dan silika). Protein (<0.6%) dan lipid integral (tergantung jumlah amilosa, mencapai 2% LPLs dan FFA). Sumber asal pati dan purifikasinya selama ekstraksi juga menentukan jumlah protein dan lipid. Kandungan air sereal adalah sekitar 10-12%, sedangkan umbi-umbian dan akar-akaran memiliki kadar air 14-15% (Copeland *et al.* 2009; Richard F Tester, Karkalas, dan Qi, 2004). Berikut ini sifat amilosa dan amilopektin.

Tabel 2.5 Sifat fisikokimia amilosa dan amilopektin

Sifat	Amilosa	Amilopektin
Struktur molekul/cabang	Linier, sedikit cabang, utamanya α 1-4	Sangat bercabang, α 1-4 dan α 1-6
Berat molekul	10^5 - 10^6 Da	10^7 - 10^9 Da
Warna dengan iodine/warna	10%/biru-kehitaman	<1%/merah-ungu
Kecernaan dengan β -amilase	100%	Sekitar 60%
Dilatasi (pelebaran) di larutan cair	Tidak stabil	Stabil
Kelarutan	Rendah/bahkan tidak larut	Tinggi
Suhu gelatinisasi	Rendah	Tinggi
Suhu meleleh	Rendah	Tinggi
Kompleks amilosa-lipid	Jumlah sangat tinggi	Tidak ada
Formasi gel	Kokoh, ireversibel	Lembut, reversible
Film	Jelas (<i>coherent</i>)	Tidak dapat membentuk
Viskositas	Rendah	Tinggi
Pengental	Buruk	Baik
Stabilitas <i>shear</i>	Relatif stabil	Tidak stabil
Adesivitas	Lemah	Kuat
Stabilitas <i>freeze-thaw</i>	Tidak stabil	Stabil
Laju retrogradasi	Tinggi	Rendah

Sumber: Sasaki, Yasui, dan Matsuki (2000); BeMiller dan Whistler (2009)

Kemampuan pengembangan matriks pati bervariasi tergantung kandungan amilosa. Semakin besar jumlah amilosa, semakin kecil kemampuan pengembangan matriks. Laju pelepasan atrazine secara konstan berbanding terbalik dengan jumlah amilosa pada pati, hal ini mengindikasikan pati dengan kandungan amilosa yang berbeda dapat digunakan sebagai kontrol pelepasan senyawa kimia (Jane 1995).

Amilosa ubi jalar memiliki lebih banyak cabang per molekul amilosa dibandingkan singkong, kentang, gandum, jagung, dan memiliki berat molekul lebih tinggi daripada jagung, gandum, dan singkong, tetapi lebih sedikit dari kentang (Tian, Rickardb, dan Blanshard 1991). Hal ini merupakan alasan kecenderungan retrogradasi yang lebih rendah pada amilosa ubi jalar.

Derajat polimerisasi dan cabang diketahui memberikan efek substansial pada sifat fisikokimia amilosa dan amilopektin (Zobel, Young, dan Rocca 1988). Kandungan amilosa ubi jalar berkisar antara 19% hingga 25% (ISI, 2018; Tian, Rickardb, dan Blanshard 1991). Granula ubi jalar memiliki besar granula bervariasi 4-40 mikron dengan rata-rata 19 mikron, sedangkan kadar amilosa ubi jalar berkisar antara 19-25% (ISI 2018).

Sumber pati utama seperti jagung, gandum, kentang, ubi kayu, dan beras mengandung 70-80% amilopektin dan 20-30% amilosa (Jane 1995). Amilosa terdiri dari unit glukosa α -1,4 tidak bercabang, sementara amilopektin terdiri dari rantai unit glukosa α -1,4 dan α -1,6 bercabang. Amilopektin terdiri dari sejumlah besar rantai pendek yang saling berikatan sehingga menghasilkan percabangan. Sedangkan amilosa terdiri dari rantai panjang tunggal atau banyak (*multiple*) dan berbentuk linier atau sedikit bercabang (Takeda, Suzuki, dan Hizukuri 1988; Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017).

Rasio amilosa-amilopektin tergantung pada sumber pati dan sangat berpengaruh signifikan dalam pembuatan produk pangan seperti bakeri. Sifat gelatinisasi dan termal pati juga dipengaruhi rasio amilosa-amilopektin. Amilosa dan amilopektin mempengaruhi reologi dan struktur produk bakeri. Amilosa juga mempengaruhi nutrisi dan sifat teknis, serta kecocokan terhadap hidrolisis enzimatis, hidrolisis, gelling, dan sifat pasta (Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017).

2.4 Sifat Fisikokimia Pati

Struktur kimia pati, seperti amilosa dan amilopektin serta proporsinya diketahui mempengaruhi sifat fungsional dari pati. Amilopektin dengan rantai

bercabang berinteraksi dengan amilosa dan menyebabkan peningkatan viskositas dan kekuatan gel. Ketika kandungan amilosa pati meningkat, viskositas dan kekuatan gel pasta pati juga meningkat (Jane 1995).

Selain amilosa dan amilopektin, pati juga mengandung lipid (mencapai 1%), residu protein (0,4%), dan *trace elements* lain seperti fosfor (mencapai 0,09%). Lipid, terutama fosfolipid memiliki kecenderungan membentuk kompleks heliks dengan pati (utamanya amilosa). Kompleks amilosa-fosfolipid terikat dengan sangat kuat dan dapat membatasi daya kembang pati selama pemasakan dan mengakibatkan penurunan viskositas dan peningkatan penampilan opak. Misalnya adalah pati gandum, pasta pati gandum memiliki viskositas rendah karena mengandung banyak fosfolipid dibandingkan pati lain (Jane 1995).

Derivat fosfat monoester juga biasa ditemukan di pati. Pati kentang dikenal mengandung banyak fosfat monoester, disusul dengan ubi jalar, garut, dan beberapa pati *legume* seperti kacang hijau dan polong. Sedangkan pati sereal, seperti gandum, jagung, dan oat hanya memiliki sedikit atau bahkan tidak ada. Fosfat monoester yang membawa muatan negatif yang saling menolak satu sama lain, meningkatkan sifat gelatinisasi dan dispersi pati serta menghambat retrogradasi pati. Gugus yang bermuatan juga dapat meningkatkan interaksi ionik dengan protein dan gugus kationik lainnya. Pati dengan derivat fosfat monoester, seperti pati kentang, memiliki kejernihan dan viskositas yang tinggi. Pasta tersebut juga menunjukkan kestabilan yang lebih baik dan retrogradasi yang lebih lambat (Jane 1995).

Selain sifat kimia pati tersebut, pati juga memiliki beberapa sifat fisik yang akan diamati sebagai parameter respon dalam penelitian ini, yaitu daya kembang/*swelling power* (SP), kelarutan/*solubility* (S), dan kapasitas pengikatan air/*water binding capacity* (WBC).

2.4.1 Daya kembang (SP) dan Kelarutan (S)

Salah satu karakteristik struktural pati yang penting adalah kemampuannya melalui beberapa tahapan dari penyerapan air hingga disintegrasi granula. Penyerapan air yang mengakibatkan terjadinya pembengkakan (*swelling*) granula pati menyebabkan pemisahan fase amilopektin-amilosa dan kehilangan kristalinitas granula (Alcázar-alay dan Meireles 2015).

Daya kembang merupakan rasio berat gel sedimen dengan berat pati kering yang diperoleh setelah gelatinisasi sampel dengan air pada suhu dan waktu

tertentu dan diikuti dengan sentrifugasi (Li dan Yeh 2001; Collado *et al.* 2001; Crosbie, 1991). Daya kembang juga dapat diartikan dengan kemampuan pati untuk mengembang bila dipanaskan. Sedangkan kelarutan adalah berat pati terlarut yang dapat diukur dengan mengeringkan dan menimbang sejumlah supernatan. Parameter tersebut merupakan petunjuk besarnya interaksi pati pada daerah amorf dan kristalin (Collado *et al.* 2001; Crosbie 1991).

Ketika pati dipanaskan dengan sejumlah air berlebih, maka struktur kristalin pati akan terganggu dan terjadi penurunan sifat *birefringence* pati akibat rusaknya ikatan hidrogen antar rantai amilosa dan amilopektin. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan pembengkakan (*swelling*) pati. Pemanasan yang terus berlanjut akan menyebabkan granula pati pecah sehingga air akan mudah keluar dan masuk dalam sistem (Svihus, Uhlen, dan Harstad 2005; Takizawa, Oliveira, dan Konkel 2004; Bertolini 2010).

Kelarutan menunjukkan karakteristik sifat kelarutan pati setelah dilakukan pemanasan. Pada proses gelatinisasi, air yang ada dalam suspensi pati akan masuk ke daerah amorf yang terdiri dari molekul pati amilosa. Proses masuknya air dalam granula pati ini menyebabkan granula membengkak sehingga diameter granula pati bertambah besar. Pemanasan yang terus berlangsung akan menyebabkan granula pati pecah sehingga air yang terdapat dalam granula pati dan molekul pati yang terlarut air dengan mudah keluar masuk ke dalam sistem larutan. Molekul pati yang larut dalam air panas (amilosa) akan ikut keluar bersama air tersebut sehingga terjadi *leaching* amilosa (Chen, Schols, dan Voragen 2004; Halal *et al.*, 2015).

Kemampuan pembengkakan pati secara langsung berasosiasi dengan jumlah amilopektin karena amilosa bertindak sebagai diluen dan inhibitor dari pembengkakan (Singh, Chawla, dan Singh 2004). Beberapa jenis pati yang mengandung kompleks lipid-amilosa juga dapat menghambat kapasitas pembengkakan dan mencegah kelarutan (Morrison dan Azudin 1987).

Pembengkakan granula pada awalnya bersifat reversibel, dengan peningkatan volume mencapai 30% (Gryszkin *et al.* 2014). Penyerapan air dan pemanasan dispersi pati memecah ikatan hidrogen dan menyebabkan kohesi granula dan pati larut sebagian (Ambigaipalan *et al.* 2014). Air yang masuk akan memenuhi granula pati, menyebabkan hidrasi fragmen dalam amilopektin (Xie *et al.* 2008). Proses ini dapat menyebabkan pembengkakan menjadi ireversibel, meningkatkan ukuran granula beberapa kali, dan viskositas pasta. Viskositas

pasta merupakan indikator penting untuk penerapan pati di industri (Gryszkin *et al.* 2014).

Asetilasi dapat meningkatkan daya kembang dengan mengurangi interaksi antar molekul pati. Inkorporasi gugus asetil dapat meningkatkan hidrofobisitas pati asetat (Lee dan Yoo 2009; Raina *et al.* 2006). Terjadi peningkatan daya kembang pada pati ubi jalar setelah proses asetilasi (Bolade dan Oni, 2015; Lee dan Yoo, 2009). Peningkatan ini juga terjadi pada tepung ubi jalar dan tepung kentang setelah asetilasi (Yadav *et al.* 2007). Pada penelitian yang dilaporkan Chibuzo (2012) juga terjadi peningkatan daya kembang dan kelarutan setelah asetilasi.

Proses asetilasi meningkatkan daya kembang, kelarutan, dan kapasitas penyerapan air pada pati *Canavalia ensiformis* yang dapat mengkonfirmasi peningkatan viskositas (Betancur, Chel, dan Can 1997). Pati kentang dan pati ubi kayu memiliki daya kembang dan kelarutan lebih tinggi setelah asetilasi. Hal ini disebabkan gugus substitusi hidrofilik yang menahan air dalam granula (Mbougoung *et al.* 2012).

Asetilasi juga meningkatkan daya kembang dan kelarutan pada pati beras. Keberadaan gugus asetil dapat memfasilitasi masuknya air ke daerah amorf akibat disorganisasi struktur intragranula (Gonzalez dan Perez 2002; Sodhi dan Singh 2005). Singh, Kaur, dan Singh (2004) juga melaporkan kenaikan daya kembang dan kelarutan pati setelah asetilasi pada pati kentang dan pati jagung. Kenaikan nilai daya kembang dan daya serap air serta penurunan nilai kelarutan juga dilaporkan terjadi pada pati *chick pea* setelah asetilasi (Yadav dan Patki 2014).

Masuknya gugus asetil pada rantai polimer dapat menyebabkan destabilisasi struktur granula, menyebabkan peningkatan daya kembang dan menurunkan suhu gelatinisasi. (Mbougoung *et al.* 2012). Hal ini penting dalam proses pengentalan karena *thickening agent* harus membentuk gel pada suhu lebih rendah. Selain itu juga dapat menurunkan cost selama proses manufaktur produk. Perbedaan pada suhu melelehnya pati dapat disebabkan oleh kristalinitas pati, ukuran molekul pati, dan rasio amilosa amilopektin (Mbougoung *et al.* 2012).

Peningkatan kelarutan juga terjadi pada pati asetilasi. Seiring dengan meningkatnya suhu, ikatan intra granula pada molekul pati akan menjadi lemah, menyebabkan pergerakan bebas rantai pati dan memfasilitasi peningkatan kelarutan (Bolade dan Oni 2015). Selain itu, gugus asetil yang masuk dalam molekul pati dapat menyebabkan retensi air dan membuat disperse pati yang lebih baik pada sistem aqueous (Betancur *et al.* 1997; Bolade dan Oni 2015).

2.4.2 *Water binding capacity* (WBC)

Kapasitas pengikatan air adalah berat gram air per gram yang diikat oleh sampel kering (Crosbie 1991). Air yang terikat disebabkan absorpsi oleh granula pati yang terikat secara fisik maupun intermolekuler pada bagian amorf pati. Nilai kapasitas pengikatan air pati dipengaruhi oleh keberadaan gugus hidrofilik yang dapat menahan air karena kemampuannya membentuk ikatan hidrogen (Mbougoung *et al.* 2012; Betancur, Chel, dan Can 1997). Keberagaman nilai kapasitas pengikatan air pati kemungkinan dipengaruhi oleh ketidaksamaan area pengikatan air yang tersedia di dalam granula akibat jumlah gugus hidrofilik yang berbeda (Wootton dan Bamunuarachchi 1978).

Pati yang berasal dari ubi-ubian memiliki nilai kapasitas pengikatan air lebih tinggi dibandingkan pati lainnya. Hal ini disebabkan oleh rasio amilosa dan amilopektin yang dimiliki pati. Pati yang memiliki lebih banyak gugus hidrofilik diketahui memiliki nilai kapasitas pengikatan air yang lebih tinggi (Wootton dan Bamunuarachchi 1978).

Water holding capacity (WHC) merupakan kemampuan matriks molekul untuk menjerap dan menahan air. Istilah ini banyak dipakai untuk produk dengan basis protein seperti legume dan sereal yang secara alami mengandung protein tinggi. Kapasitas pengikatan air merupakan kecenderungan air untuk berasosiasi dengan bagian hidrofilik. Produk pangan dengan kapasitas pengikatan air rendah tidak bisa mengikat air dengan efektif sehingga kurang disukai (Farooq dan Boye 2011).

Water absorbance capacity (WAC) merupakan nilai yang mempengaruhi proses pembengkakan granula yang dipengaruhi oleh interaksi protein, pati, dan serat. Pati diketahui menunjukkan daya kembang yang tinggi dengan adanya air, dan ketika dikombinasikan dengan kemampuan pengembangan protein dan serat, pati dapat lebih meningkatkan kemampuan pengembangannya (Farooq dan Boye 2011).

Asetilasi dapat meningkatkan kapasitas pengikatan air pati. Pati kentang dan pati ubi kayu memiliki kapasitas pengikatan air lebih tinggi setelah asetilasi. Hal ini disebabkan gugus substitusi hidrofilik yang menahan air dalam granula (Mbougoung *et al.* 2012). Daya serap air pati beras juga meningkat setelah

asetilasi (Gonzalez dan Perez 2002). Meskipun meningkatkan daya kembang dan kelarutan, namun terjadi penurunan kapasitas pengikatan air pada pati kentang dan jagung (Singh, Chawla, dan Singh 2004). Kenaikan nilai daya serap air dan daya kembang serta penurunan kelarutan juga dilaporkan terjadi pada pati *chick pea* (Yadav dan Patki 2014). Pada penelitian yang dilaporkan Chibuzo (2012) juga terjadi peningkatan daya serap air pati ubi jalar setelah asetilasi.

Pati ubi jalar asetilasi memiliki kapasitas pengikatan air, kapasitas pengikatan minyak, daya kembang, dan kelarutan yang meningkat hingga titik tertentu. Peningkatan disebabkan oleh bertambahnya bagian amorf pati. Penurunan terjadi setelah titik tertentu seiring dengan meningkatnya derajat substitusi (Das et al. 2010). Kerjernihan pati juga meningkat setelah asetilasi (Das et al. 2010).

2.4.3 Gelatinisasi, Pasting, dan Retrogradasi

Pati alami memiliki struktur yang kompleks, karenanya pemrosesan granula pati biasanya melibatkan disrupsi urutan struktural dalam granula selama pemanasan di dalam air. Terjadinya *collapse* atau disrupsi urutan molekuler di dalam granula menyebabkan perubahan ireversibel pada sifat seperti pembengkakan granula, pelelehan kristalit alami, kehilangan *birefringence*, dan kelarutan pati. Perubahan ini menyebabkan peningkatan viskositas media dan terjadi gelatinisasi (Shrestha dan Halley 2014; Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017).

Ketika pati dipanaskan dalam air, terjadi *leaching* amilosa dari granula (Doublrier 1981) *Leaching* amilosa dan peningkatan pembengkakan granula meningkatkan viskositas media (Copeland et al. 2009). Gelatinisasi merupakan kunci sifat fungsional granula pati yang menentukan penggunaannya pada bahan pangan (Shrestha dan Halley 2014). Sifat pengental yang diinginkan diperoleh ketika granula pati mencapai pengembangan maksimum, tapi belum mengalami disrupsi. Suhu pada titik granula pati mulai membengkak disebut suhu gelatinisasi. Suhu ini bervariasi diantara sumber pati yang berbeda. Secara umum, suhu gelatinisasi umbi-umbian dan akar-akaran dilaporkan lebih rendah daripada pati sereal (Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017).

Ketika pati dipanaskan dengan keberadaan air dan *shear* yang terbatas, maka granula pati akan membengkak menjadi lebih besar dan *leaching* amilosa dapat terjadi dari dalam granula pati, saat inilah gelatinisasi pati terjadi (onset)

(Zhang *et al.* 2017). Pembengkakan terjadi pada daerah amorf, sementara daerah kristalin tidak mengembang selama pembengkakan dan tegangan antarmuka akan meningkat antara daerah amorf dan kristalin, di sini lah tempat ikatan hidrogen yang menghubungkan antara amilosa di bagian amorf dan amilopektin di bagian kristalin (Svihus, Uhlen, dan Harstad 2005). Selanjutnya, daerah kristalin akan rusak dengan cepat dan gelatinisasi akan terinisiasi pada titik tertentu dengan keberadaan air pada proses pembengkakan. Suhu onset gelatinisasi pati biasanya terjadi pada 50-70°C (Han dan Hamaker 2001).

Pati alami tidak larut pada air dingin. Dalam keadaan ini, pati tidak memiliki efek pada karakteristik pangan. Namun, ketika panas diterapkan pada pati dalam air berlebih, pati mengalami perubahan seperti gelatinisasi, pasting, dan retrogradasi (Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017).

Gelatinisasi pati melibatkan perubahan bentuk (meleleh) dari granula dalam media air dan keberadaan panas. Pembengkakan granula di dalam air akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan menyebabkan perpindahan air pada suspensi, juga air yang berasosiasi dengan komponen pati seperti amilosa dan amilopektin. Ketika pati dipanaskan, granula yang tidak larut menjadi terbuka dan mengakibatkan kehilangan kristalinitasnya.

Proses gelatinisasi meningkatkan viskositas dan solubilitas pati, yang merupakan perubahan ireversibel dari granula dan struktur semikristalin yang rusak, juga kehilangan birefringence (Douzals *et al.* 1998). Setelah pemanasan dan gelatinisasi terjadi, selama fase pendinginan, pati dapat mengalami retrogradasi ketika rantai-rantai pati cenderung berreasosiasi membentuk struktur yang kompak. Peristiwa ini diikuti dengan peningkatan viskositas yang biasanya disebut dengan *setback* (Bertolini 2010).

Perbedaan peristiwa pembengkakan diantara pati alami dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran granula, kristalinitas, kandungan kompleks amilosa-lipid, dan interaksi antar rantai pati pada daerah amorf. Sifat fisikokimia amilosa dan amilopektin cukup berbeda dan mempengaruhi dalam sifat pasting pati. Pemahaman mengenai transisi termal dan sifat reologi pati penting dalam mempelajari struktur pati dan pengaplikasiannya yang sesuai (Bertolini 2010).

Penambahan panas atau shear pada tahap pembengkakan granula maksimal akan merusaknya dengan menghancurkan ikatan hidrogen antar rantai polimer. Ketika hal ini terjadi dispersi amilosa dan amilopektin fragmen granula terbentuk, yang menyebabkan turunnya viskositas pasta (Schirmer, Jekle, dan

Becker 2015). Titik diantara pengembangan maksimal dan disrupsi yang menyebabkan penurunan viskositas disebut viskositas puncak. Pasting merupakan fenomena yang terjadi setelah gelatinisasi dan kelarutan pati. Pasting melibatkan pembengkakan granula dan kerusakan total granula pati. Pasting tidak dapat dipisahkan dari proses gelatinisasi, namun dapat dideskripsikan sebagai *overlapping* (Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017).

Retrogradasi merupakan reasosiasi polimer pati terlarut pada struktur kompak setelah pemanasan larutan (Miles *et al.* 1985). Retrogradasi pasta pati atau larutan kemungkinan memiliki beberapa efek: peningkatan viskositas, pengembangan *opacity* dan turbiditas, pembentukan kulit insoluble pada pasta panas, presipitasi partikel pati tidak larut, formasi gel dan sineresis air dari pasta. Proses retrogradasi berhubungan dengan peningkatan kekokohan dan kekerasan pati (Shrestha dan Halley 2014). Pada proses *baking*, proses ini disebut *staling* dan dideskripsikan sebagai peningkatan kekokohan *bread crumb* selama masa penyimpanan (Gray dan Bemiller 2003). Amilosa mengkristal setelah beberapa menit ke jam, sedangkan amilopektin beretrogradasi setelah beberapa jam atau hari (Bulkin dan Kwak 1987). Oleh karena itu, durasi proses *staling* tergantung pada rasio amilosa-amilopektin.

Sifat gelatinisasi dan pasting merupakan kunci utama penentuan aplikasi pati pada roti bebas gluten. Adonan pati bebas gluten sederhana merupakan suspensi pati dan sel khamir dalam air. Tujuan utama proses *baking* adalah untuk menjaga udara dan gas yang diperoleh selama *mixing* dan fermentasi lepas dari adonan, dan mencegah pati dan khamir dari *settling*. Pati yang mengalami gelatinisasi selama proses *baking* meningkatkan viskositas, yang mencegah *settling* pada pati yang tidak tergelatinisasi, serta gelembung udara dan gas bebas. Hasil ini yang menentukan struktur *crumb*. Proses *staling* cepat roti bebas gluten disebabkan retrogradasi pati yang terjadi pada kedua polimer amilosa dan amilopektin. Pada formulasi roti bebas gluten yang lebih kompleks juga proses *staling* dapat dihambat dengan penambahan ingridien lain seperti lemak, emulsifier, dsb (Horstmann, Lynch, dan Arendt 2017).

2.4.4 *Birefringence* dan Suhu Transisi Kaca (*Glass Transition Temperature/Tg*)

Birefringence adalah kemampuan untuk menggandakan refraksi pemantulan cahaya. Semua pati pada keadaan alaminya memiliki *birefringence*

dengan proporsi struktur kristalinnya. Pola *birefringence* pada granula pati menunjukkan susunan molekul amilopektin, dalam bentuk rantai 90° dengan *reduced ends* di arah hilum atau pusat granula pati. Pola *birefringence* yang lemah juga menunjukkan disorganisasi daerah kristalin (Bemiller 2011). Kehilangan *birefringence* pada granula pati berasosiasi dengan deformasi pati karena proses modifikasi (Liu, Lelievre, dan Ayoung-chee 1991).

T_g merupakan parameter penting yang mempengaruhi sifat fisik polimer.

Transisi kaca terjadi serupa dengan transisi termodinamika ordo 2, dengan volume spesifik dan entalpi adalah fungsi dari suhu. T_g dideskripsikan sebagai suhu induksi dari transisi progresif keadaan amorf menjadi *rubbery* ketika bahan dipanaskan, yang biasanya terjadi dengan keberadaan pelarut atau pemlastis. Pati yang terdiri dari daerah amorf dan kristalin menyebabkan sulitnya ditentukan titik T_g yang tepat (Alcázar-alay dan Meireles 2015).

2.5 Modifikasi Pati

Modifikasi pati ditujukan untuk mengoreksi kelemahan pati alami, yang akan meningkatkan nya fleksibilitas dan memenuhi permintaan konsumen. Modifikasi ini ditargetkan pada perubahan yang diinginkan pada struktur pati sehingga sifatnya dapat diatur sesuai kebutuhan. Turunan pati yang dimodifikasi adalah produk dari pemecahan ikatan glikosidik (modifikasi asam menjadi dekstrin) atau membentuk gugus fungsional baru (pembentukan kelompok karbonil selama oksidasi), atau substitusi gugus hidroksil yang tersedia bebas (dengan eterifikasi atau esterifikasi), atau membentuk ikatan silang antar molekul (Singh, Kaur, dan Mccarthy, 2007).

Modifikasi sifat fungsional lebih baik dilakukan dengan substitusi hidrofilik ionik daripada substitusi hidrofobik non-ionik. Dalam sifat fungsional semacam itu, distribusi substituen kimia yang digunakan dan kelompok hidroksil bebas yang tersisa dalam residu anhidroglukosa dan sepanjang rantai polimer dapat memberikan pengaruh kuat pada sifat produk. Beberapa turunan pati yang baru dikembangkan juga telah dirancang untuk penggunaan non-pangan karena meningkatnya keamanannya (Tharanathan 2005).

Pati alami adalah penstabil tekstur dan regulator yang baik dalam sistem pangan, namun memiliki keterbatasan seperti ketahanan *shear* rendah, ketahanan termal, dekomposisi termal, dan kecenderungan retrogradasi yang tinggi sehingga terbatas penggunaannya dalam beberapa aplikasi industri. Modifikasi pati, yang

melibatkan perubahan karakteristik fisik dan kimia pati alami untuk memperbaiki karakteristik fungsionalnya, dapat digunakan untuk menyesuaikan pati dengan aplikasi makanan tertentu (Hermansson dan Svegmak 1996).

Pati termodifikasi adalah pati yang gugus hidroksilnya telah diubah lewat suatu reaksi kimia (esterifikasi, sterifikasi atau oksidasi) atau dengan mengubah struktur asalnya. 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 (Tharanathan 2005).

Pati secara alami memiliki kelemahan untuk sebagian besar aplikasi dan perlu dimodifikasi secara fisik dan/atau kimia untuk memperoleh sifat yang diinginkan. Modifikasi pati umumnya dilakukan dengan metode fisik yang sederhana dan murah karena tidak adanya zat kimia. Namun, modifikasi kimia melibatkan penggunaan gugus hidroksil yang ada pada pati yang dapat menghasilkan pati dengan sifat yang diinginkan untuk beberapa aplikasi tertentu. Semua teknik ini memiliki kecenderungan untuk menghasilkan pati dengan sifat fisikokimia yang berubah dan atribut struktural yang dimodifikasi untuk berbagai aplikasi pangan dan non pangan (Abbas, Khalil, dan Hussin 2010; Singh, Kaur, dan Mccarthy 2007; Tharanathan 2005). Berikut ini adalah beberapa metode modifikasi pati.

2.5.1 Modifikasi Asetilasi

Modifikasi kimia dilakukan dengan memasukkan gugus fungsional ke dalam molekul polimer dari granula pati dalam bentuk aslinya yang membawa perubahan khas pada sifat fisikokimia molekul pati. Modifikasi jenis ini menghasilkan modifikasi reflektif dalam gelatinisasi, karakteristik proksimat, karakteristik *pasting*, dan retrogradasi granula pati alami. Modifikasi tersebut dapat membantu dalam stabilisasi ikatan intra dan antar molekul pada posisi dan lokasi yang berbeda (Din, Xiong, dan Fei 2015; Kaur *et al.* 2011).

Faktor-faktor seperti sumber pati, kondisi reaksi, tingkat substitusi, jenis dan distribusi zat pengganti di sepanjang molekul pati mempengaruhi sifat fungsional dan fisikokimia pati yang dimodifikasi. Modifikasi kimia pati umumnya

dilakukan melalui derivatisasi seperti asetilasi, kationisasi, hidrolisis asam, oksidasi, dan *cross-linking*. Namun, teknik ini terbatas karena isu keamanan dan lingkungan. Metode ini dapat dikombinasikan satu sama lain, maupun dengan metode fisik (Din, Xiong, dan Fei 2015).

Asetilasi adalah metode modifikasi kimiawi umum dimana bagian gugus hidroksil molekul glukosa digantikan oleh gugus asetil menghasilkan struktur molekul pati yang dimodifikasi. Pati ini diproduksi dengan menggunakan anhidrida asetat dan katalis basa seperti natrium hidroksida (Bello-pérez *et al.* 2010). Pati asetilasi dilakukan dengan berbagai fungsi tergantung pada tingkat substitusi/*degree of substitution* (DS). Pati ini memiliki DS rendah sekitar (0,01-0,2) sehingga dapat bertindak sebagai adhesi, pengental, pembentuk tekstur, pembentukan *film*, penstabil, pengikat, yang sesuai digunakan dalam industri makanan dalam pangan panggang, saus, pangan beku, pangan bayi, makanan ringan dan *dressing*. Pati berasetilasi dengan DS menengah (0,2-1,5) dan DS tinggi (1,5-3,0) dilaporkan untuk kelarutan tinggi dalam aseton dan kloroform sehingga dapat digunakan sebagai bahan termoplastik (Luo dan Shi 2012).

Asetilasi pati dilakukan untuk menghasilkan perubahan yang diinginkan pada sifat fisik, fungsional, dan kimia pati (Xu, Miladinov, dan Hanna 2004) dan telah digunakan oleh banyak peneliti (Mbougoung *et al.* 2012; Huang *et al.* 2007; Bello-pérez *et al.* 2010). Faktor yang berbeda memainkan peran penting dalam perubahan yang disebabkan oleh asetilasi seperti sumber pati, rasio amilosa dan amilopektin, struktur molekul pati, dan tingkat substitusi. Efisiensi reaksi dan jumlah gugus asetil yang diinduksi dalam molekul pati selama proses asetilasi bergantung pada waktu reaksi, adanya katalis, asal pati, konsentrasi reagen, dan karakteristik struktural granula pati (Huber dan Bemiller 2001; Huang *et al.* 2007).

Perlakuan asetilasi dengan asetat anhidrat pada pati jagung dan pati kentang juga telah dilakukan. Hasilnya pati jagung dan kentang yang diasetilasi menunjukkan kandungan amilosa yang sedikit lebih tinggi daripada pati alami. Pati asetat menunjukkan kekuatan pembengkakan yang lebih tinggi, kelarutan dan transmisi cahaya lebih baik, juga % sineresis yang lebih rendah dibanding pati alami seiring peningkatan konsentrasi anhidrida asetat dalam media reaksi (Singh, Chawla, dan Singh 2004).

Perlakuan asetilasi pati kentang dan pati ubi jalar menghasilkan derajat substitusi yang lebih tinggi seiring dengan penurunan dimensi ukuran granula pati. Hal ini dikarenakan asetilasi dapat terjadi di semua area amorf dan hanya di bagian

luar area kristalin (Chen, Schols, dan Voragen 2004). Berikut ini adalah beberapa karakteristik pati modifikasi asetilasi.

Tabel 2.6 Beberapa karakteristik pati asetilasi

Subyek	Kondisi proses	Respon	Referensi
Oat	POCl ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Meningkatkan daya kembang • Menurunkan suhu gelatinisasi 	(Mirmoghtadaie, Kadivar, dan Shahedi 2009)
Pati jagung dan kentang	Asetat anhidrat	<ul style="list-style-type: none"> • Daya kembang, kelarutan, dan amilosa meningkat • Kapasitas pengikatan air menurun • Granula tercluster 	(N. Singh, Chawla, dan Singh 2004)
Pati kentang dan singkong	Asetat anhidrat	<ul style="list-style-type: none"> • Amilosa dan pH turun • Kapasitas pengikatan air, kelarutan, dan kadar air meningkat • Kecerahan pati meningkat 	(Mbougoung <i>et al.</i> 2012)
Pati ubi jalar	Asetat anhidrat	<ul style="list-style-type: none"> • Daya kembang dan kelarutan meningkat 	(H. Lee dan Yoo 2009)

Asetilasi merupakan modifikasi molekul polimerik pati dengan penambahan gugus asetil CH₃CO dan direaksikan dengan gugus hidroksil bebas yang tersedia di rantai cabang polimer pati (Alcázar-alay dan Meireles 2015). Penambahan gugus asetil mengurangi resistensi ikatan antar molekul pati. Asetilasi dapat meningkatkan kapasistas pembengkakan dan kelarutan pati dibandingkan pati alami. Keberadaan ikatan hidrogen pada pati asetilasi dibatasi karena gaya tolakan elektrostatis pada molekul pati (Lawal 2004).

Pada pati asetilasi, gugus hidroksil dan glukosa anhidrat diubah menjadi gugus asetilasi (Huang *et al.* 2007). Asetilasi diketahui dapat menurunkan kecenderungan untuk retrogradasi dan meningkatkan kelarutan dan kapasitas pembengkakan pati. Asetilasi juga dapat meningkatkan viskositas pasta (Bello-pérez *et al.* 2010).

Tergantung proses asetilasi, asetat anhidrat dapat ditambahkan terlalu cepat, pengadukan tidak homogen, atau waktu reaksi terlalu singkat dapat mempengaruhi efisiensi asetilasi (Gonzalez dan Perez, 2002).

III. LANDASAN TEORI DAN KERANGKA PENELITIAN

3.1 Landasan Teori dan Kerangka Penelitian

Ubi jalar merupakan komoditas pangan lokal yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Produktivitas ubi jalar di Indonesia selama 1995-2016 cenderung mengalami peningkatan, pertumbuhan rata-rata selama periode tersebut sebesar 2,81% per tahun dengan produktivitas 168,18 ku/ha pada tahun 2016. Ekspor ubi jalar Indonesia dalam bentuk ubi jalar beku dan ubi jalar selain beku diekspor terutama ke Malaysia, Jepang, Korea dan dan Singapura (Kementerian Pertanian 2016). Kendati demikian pemanfaatan ubi jalar masih lebih rendah dibandingkan ubi kayu maupun jagung (Surendra Babu *et al.* 2016). Pemanfaatan yang rendah ini menjadikan ubi jalar mengalami penurunan produktivitas, bukan hanya di Indonesia, tapi juga di dunia dari 97 juta ton tahun 2010 menjadi 92 juta ton tahun 2019 (FAOSTAT 2020). Oleh karena itu, pemanfaatan ubi jalar perlu untuk dioptimalkan

Ubi jalar kaya dengan pati (58-76% pada dasar kering) dan pati nya memiliki sifat yang agak mirip dengan pati kentang dan telah banyak digunakan dalam mie pati, makanan roti, makanan ringan dan produk permen (S. Senanayake *et al.*, 2013; Bertolini, 2010). Selain itu, ubi jalar juga memiliki kekerabatan dekat dengan kentang dengan urutan taksonomi yang sama yaitu *Solanales*, selain itu pati ubi jalar memiliki karakteristik mirip pati kentang (FAO 1990; Senanayake *et al.* 2013; Woolfe 1992; Zhao *et al.* 2012). Oleh karena itu, pati ubi jalar berpotensi menjadi sumber karbohidrat alternatif pengganti pati kentang.

Penggunaan ubi jalar sebagai substitusi pengganti pati kentang terkendala pada beberapa kelemahan tertentu dalam aplikasi industri. Granula pati alami terhidrasi dengan mudah, membengkak (*swelling*) dengan cepat, pecah, viskositas rendah dan menghasilkan pasta sangat lemah dan kohesif (Sánchez-Rivera *et al.* 2005). Modifikasi pati sering digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini.

Modifikasi, pati dibuat khusus untuk memenuhi kebutuhan spesifikasi produk akhir, sehingga menimbulkan berbagai macam produk khusus. Modifikasi pati adalah proses mengubah struktur pati dengan mempengaruhi ikatan hidrogen dengan cara yang dapat dikontrol. Biasanya, modifikasi pati dapat dilakukan

dengan beberapa metode seperti fisik, kimia, enzimatik, atau transformasi genetik (Yiu *et al.* 2008; Abbas, Khalil, dan Hussin 2010; Bertolini 2010; Jane 1995). Pada penelitian ini, ubi jalar putih varietas Sembowo dipilih sebagai bahan baku pati modifikasi. Modifikasi akan dilakukan dengan metode asetilasi.

Asetilasi pati adalah metode modifikasi kimiawi umum dimana bagian gugus hidroksil molekul glukosa digantikan oleh gugus asetil, menghasilkan struktur molekul pati yang dimodifikasi. Pati ini diproduksi dengan menggunakan anhidrida asetat. Katalis basa seperti natrium hidroksida juga digunakan pada proses asetilasi (Bello-pérez *et al.* 2010).

Pati asetilasi dilakukan dengan berbagai fungsi tergantung pada tingkat substitusi/*degree of substitution* (DS). Pati ini memiliki DS rendah sekitar (0,01-0,2) sehingga dapat bertindak sebagai adhesi, pengental, pembentuk tekstur, pembentukan *film*, penstabil, pengikat, yang sesuai digunakan dalam industri makanan dalam pangan panggang, saus, pangan beku, pangan bayi, makanan ringan dan *dressing*. Pati berasetilasi dengan DS menengah (0,2-1,5) dan DS tinggi (1,5-3,0) dilaporkan untuk kelarutan tinggi dalam aseton dan kloroform sehingga dapat digunakan sebagai bahan termoplastik (Luo dan Shi 2012).

Asetilasi pati dilakukan untuk menghasilkan perubahan yang diinginkan pada sifat fisik, fungsional, dan kimia pati (Xu, Miladinov, dan Hanna 2004) dan telah digunakan oleh banyak peneliti (Mbougoung *et al.* 2012; Bello-pérez *et al.* 2010; Huang *et al.* 2007). Faktor yang berbeda memainkan peran penting dalam perubahan yang disebabkan oleh asetilasi seperti sumber pati, rasio amilosa dan amilopektin, struktur molekul pati, dan tingkat substitusi. Efisiensi reaksi dan jumlah gugus asetil yang diinduksi dalam molekul pati selama proses asetilasi bergantung pada waktu reaksi, adanya katalis, asal pati, konsentrasi reagen, dan karakteristik struktural granula pati (Huber dan Bemiller, 2001; Huang *et al.*, 2007).

Perlakuan asetilasi dengan asetat anhidrat pada pati jagung dan pati kentang juga telah dilakukan. Hasilnya pati jagung dan kentang yang diasetilasi menunjukkan kandungan amilosa yang sedikit lebih tinggi daripada pati alami. Pati asetat menunjukkan kekuatan pembengkakan yang lebih tinggi, kelarutan dan transmisi cahaya lebih baik, juga % sineresis yang lebih rendah dibanding pati alami seiring peningkatan konsentrasi anhidrida asetat dalam media reaksi (N. Singh, Chawla, dan Singh 2004). Perlakuan asetilasi pati kentang dan pati ubi jalar menghasilkan derajat substitusi yang lebih tinggi seiring dengan penurunan dimensi ukuran granula pati. Hal ini dikarenakan asetilasi dapat terjadi di semua

area amorf dan hanya di bagian luar area kristalin (Chen, Schols, dan Voragen 2004).

Pati modifikasi asetilasi memiliki kelebihan karena memiliki laju retrogradasi yang rendah, stabilitas lebih baik, dan warna pati yang lebih putih.

Oleh karena itu, Pati asetilasi sesuai digunakan untuk *baking*, produk *frozen/canned food*, saus, pai buah, *salad dressing*, dan pengisi kue (Ayucitra 2012). Kendati demikian, modifikasi kimia asetilasi memiliki kelemahan karena masih memungkinkan tertinggalnya residu-residu pereaksi kimia yang digunakan selama proses asetilasi.

Pada penelitian ini modifikasi pati ubi jalar diharapkan dapat menghasilkan pati dengan sifat yang serupa pati kentang. Karakteristik pati kentang yang diunggulkan adalah a) konsistensi yang tinggi saat *pasting* diikuti viskositas rendah, b) pembentukan *film* fleksibel, c) kemampuan mengikat lebih baik, dan d) suhu gelatinisasi rendah (Whistler dan Daniel 1984). Berdasarkan hal tersebut, akan dicari hasil yang teroptimal dari semua perlakuan modifikasi.

3.2 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Modifikasi pati asetilasi dapat digunakan untuk mengubah sifat fungsional pati ubi jalar menjadi serupa dengan pati kentang komersial sebagai referensi.
- 2) Modifikasi pati ubi jalar asetilasi dapat digunakan sebagai alternatif substitusi pati kentang komersial.
- 3) Penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi memiliki pengaruh terhadap karakteristik pati asetilasi.

Indonesia banyak mengimpor pati kentang dan kentang olahan dengan dengan rata-rata peningkatan 31,59% per tahun (FAOSTAT 2021; Kementerian Pertanian 2013).

Kebutuhan pati kentang meningkat seiring peningkatan industri pangan olahan

Tren peningkatan mencapai 12,69% tahun 2014 (Kementerian Perindustrian 2016)

Substitusi dengan pati ubi jalar modifikasi

Penelitian ilmiah masih terbatas

Perbedaan mendasar pati ubi jalar dan pati kentang adalah pati ubi jalar memiliki sifat adesif, ukuran partikel, dan transparansi lebih kecil dari pati kentang. Pati ubi jalar juga membentuk gel lebih kuat dan suhu gelatinisasi yang lebih tinggi dibanding pati kentang (Lim 2016b; Pramodrao and Riar 2014)

Modifikasi pati dapat digunakan untuk meningkatkan sifat fungsional pati ubi jalar (Nawaz et al. 2020; Din et al. 2015).

Modifikasi kimia asetilasi dapat digunakan untuk modifikasi pati. Asetilasi pati adalah metode modifikasi kimiawi umum yang terjadi karena bagian gugus hidroksil molekul glukosa digantikan oleh gugus asetil menghasilkan struktur molekul pati modifikasi (Lawal 2004).

Asetilasi

Pengujian sifat fisikokimia pati ubi jalar modifikasi dengan pati kentang sebagai referensi

Penentuan kondisi modifikasi yang paling tepat sebagai substitusi pati kentang komersial

Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian secara keseluruhan

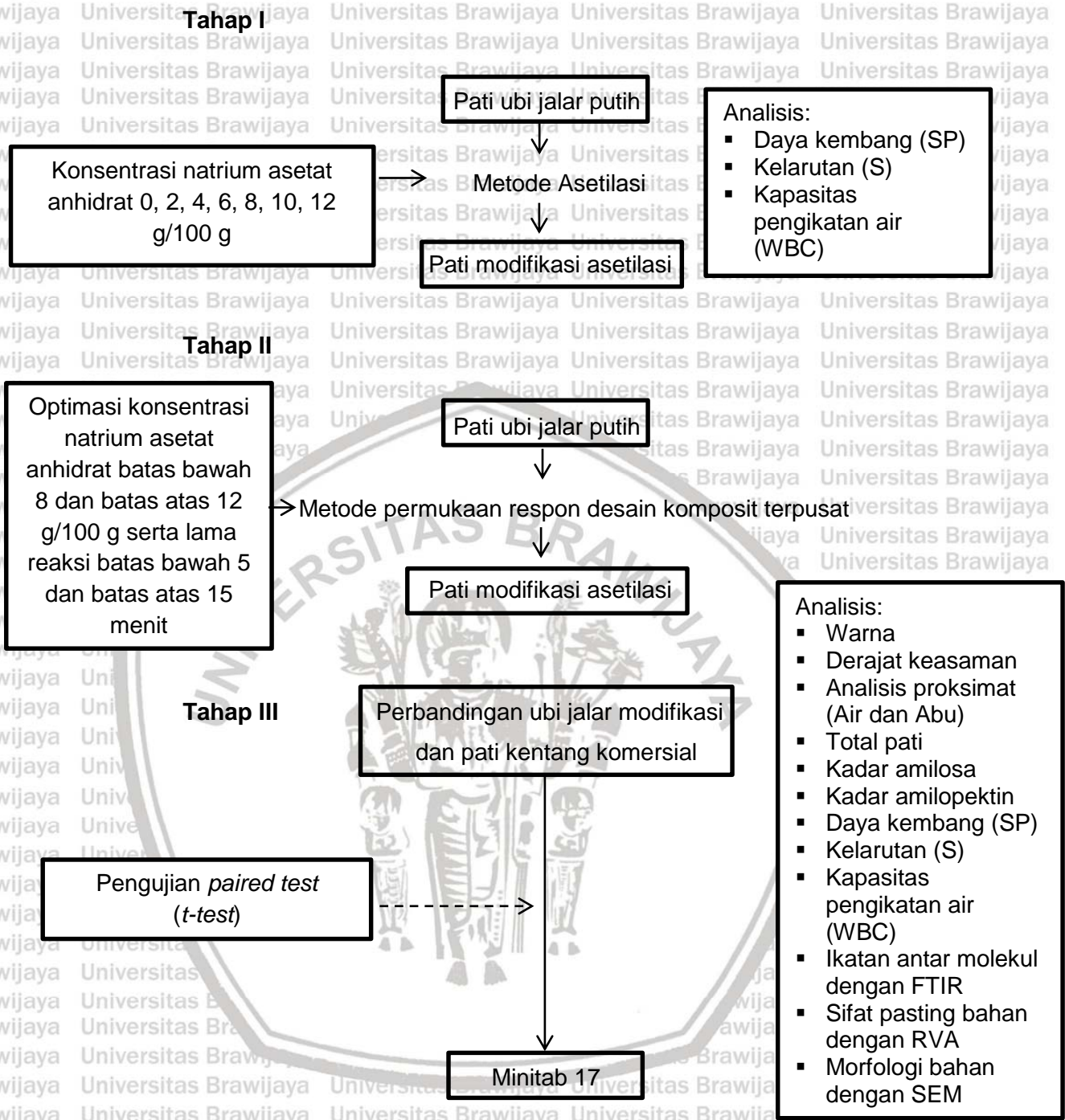
3.3 Kerangka Operasional Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahapan. Tahap pertama adalah penentuan pengaruh natrium asetat anhidrat terhadap pati modifikasi. Penambahan natrium asetat anhidrat dilakukan sebanyak 0, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 g/100 g pati ubi jalar. Lama proses yang digunakan adalah 10 menit berdasarkan penelitian Mbougueng *et al.* (2012). Respon yang diamati adalah daya kembang (g/g), kelarutan (%), dan kapasitas pengikatan air (%).

Tahap kedua adalah tahap optimasi penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap pati modifikasi. Optimasi dilakukan dengan metode permukaan respon (RSM) dengan perangkat lunak Design Expert yang digunakan sebagai perangkat analisis. Sodium asetat anhidrat ditambahkan dengan batas bawah penambahan 8 dan batas atas adalah 12 g/100 g pati ubi jalar sesuai dengan hasil yang diperoleh pada tahap pertama. Reaksi asetilasi terjadi sesuai dengan lama reaksi yang diatur dengan batas bawah 5 menit dan batas atas 15 menit setelah penambahan asetat anhidrat. Respon utama yang diamati adalah daya kembang (g/g), kelarutan (%), dan kapasitas pengikatan air (%).

Tahap ketiga adalah membandingkan respon pada pati modifikasi dengan pati kentang referensi. Perbandingan ini dilakukan dengan *paired t-test* dengan membandingkan secara langsung ketiga respon, yaitu daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati asetilasi dengan pati kentang referensi. Pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab 17.0.

Pada pati ubi jalar, pati kentang, dan pati asetilasi optimum dilakukan analisis kadar air, kadar abu, kadar pati, kadar amilosa, kadar amilopektin, kadar pati, pH, derajat kecerahan, daya kembang, kelarutan, kapasitas pengikatan air, analisis mikrostruktur dengan SEM, analisis ikatan antar atom dengan FTIR, dan analisis reologi dengan RVA.



Gambar 3.2 Kerangka operasional penelitian secara keseluruhan

IV. METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa lokasi, yaitu:

- Laboratorium Kimia dan Biokimia Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, sebagai tempat analisis sifat fisik dan kimia pati..
- Laboratorium Rekayasa dan Pengolahan Pangan Hasil Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, tempat preparasi sampel.
- Laboratorium Biosains, Universitas Brawijaya, untuk melakukan uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dari pati.
- Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, untuk melakukan uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dari pati.
- Laboratorium BPPT Serpong untuk melakukan uji RVA (*Rapid Visco Analyzer*) dari pati.

4.2 Bahan dan Alat Penelitian

4.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ubi jalar putih (*Ipomea batatas L.*) varietas Sembowo dengan kulit berwarna merah (Gambar 4.1 (a)) dan daging ubi berwarna putih (Gambar 4.1 (b)) yang diperoleh dari Pasar Lokal di Kulon Progo, Jogjakarta.



Gambar 4.1 a) Ubi jalar; b) Daging ubi jalar

Selanjutnya ubi diolah menjadi pati (Gambar 4.2 (a)). Sedangkan pati kentang yang digunakan adalah pati kentang komersil merek "Mr. Food" (Gambar 4.2 (b)) yang diperoleh dari PT. Wadah Pangan Makmur. Bahan lain yang digunakan untuk modifikasi pati adalah natrium asetat anhidrat p.a (MERCK), HCL p.a, NaOH p.a, dan akuades. Sedangkan bahan kimia yang digunakan untuk pengujian adalah etanol p.a, NaOCl p.a, glukosa anhidrat, buffer pH 4, buffer pH 7, iodin p.a, KI p.a, amilosa murni, alkohol 10% p.a, eter p.a..



Gambar 4.2 a) Pati ubi jalar 1; b) Pati ubi jalar 2; c) Kemasan pati kentang "Mr. Food"; d) Pati kentang

4.2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian antara timbangan analitik (Denver Instrument), termometer (TP101), panci, kain saring, stopwatch, panci, baskom, sendok, gelas ukur. Alat yang digunakan untuk analisis fisik adalah pH meter EUTECH 2000, Minolta CR 200 Chromameter. Alat yang digunakan untuk analisis kimia adalah *sentrifuge* (Hettich EBA 20), tanur listrik (Thermolyne), *spektrofotometer*, tabung *sentrifuge*, oven (Memmert), kertas saring, *shaker waterbath* (Memmert), blender, ayakan, pengering kabinet, oven listrik (kirin),

pisau, gelas beaker (Pyrex), gelas ukur (Pyrex), cawan petri (Normax), erlenmeyer (Pyrex), pipet ukur (Pyrex), dan seperangkat alat gelas lainnya.

4.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah percobaan laboratorium dengan menggunakan metode permukaan respon (RSM) dengan masing-masing perlakuan diulang sebanyak 5 titik tengah, 4 kali faktorial, dan 4 kali axial dengan total 13 percobaan. Selanjutnya hasil diverifikasi dengan mengoptimalkan respon dengan kriteria *targeted to* yang didesain sesuai dengan pati kentang komersial.

- Tahap 1

Efek penambahan natrium asetat anhidrat pada respon diperkirakan. Penambahan natrium asetat anhidrat dilakukan sebanyak 0, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 g/100 g pati ubi jalar. Penelitian dilakukan dengan tiga kali ulangan. Lama proses yang digunakan adalah 10 menit berdasarkan penelitian Mbougoung *et al.* (2012). Respon yang diamati adalah daya kembang (g/g), kelarutan (%), dan kapasitas pengikatan air (%).

- Tahap 2

Pada tahap ini penelitian dilakukan menggunakan metode permukaan respon *central composite design* (CCD). Faktor yang digunakan adalah konsentrasi natrium asetat anhidrat (x_1) yaitu 8, 10, 12 g/100g pati ubi jalar dan lama reaksi (x_2) yaitu 5, 10, dan 15 menit. CCD diatur dengan menggunakan 5 titik pusat dan menghasilkan 13 percobaan setelah dioperasikan dengan program *Design Expert DX11*. Batas bawah (-1), titik tengah (0) dan batas atas (+1) untuk penambahan natrium asetat anhidrat adalah 8, 10, dan 12 g/100g, secara berurutan. Pemilihan konsentrasi natrium asetat anhidrat didasarkan pada penelitian pendahuluan dengan menguji efek penambahan natrium asetat anhidrat dengan variasi 2-12 g/100 g pada pati ubi jalar.

Tabel 4.1 Batasan tingkat variabel bebas pada penelitian

Variabel bebas	Satuan	Faktor	Tingkat				
			- α (-1,414)	-1	0	1	+ α (+1,414)
Penambahan natrium asetat anhidrat	g/100 g	X_1	7,17	8	10	12	12,83
Lama reaksi	menit	X_2	2,93	5	10	15	17,07

Batas bawah (-1), titik tengah (0), dan batas atas (+1) untuk lama reaksi adalah 5, 10, dan 15 menit. Selanjutnya hasil diverifikasi dan dibandingkan menggunakan uji *paired t-test* dengan software *Minitab 17*. Uji *t-test* dilaksanakan dengan menggunakan pati kentang sebagai pembanding. Batasan tingkat variabel bebas dan variabel terikat yang diamati pada penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Batasan tingkat variabel terikat pada penelitian

Variabel terikat	Satuan	Kriteria tingkat
Daya kembang	g/g	Targeted to
Kelarutan	%	Targeted to
Kapasitas pengikatan air	%	Targeted to

Pati ubi jalar, pati kentang, dan pati asetilasi optimum dilakukan analisa kadar air, kadar abu, kadar pati, kadar amilosa, kadar amilopektin, kadar pati, pH, derajat kecerahan, daya kembang, kelarutan, kapasitas pengikatan air, analisa mikrostruktur dengan SEM, analisa ikatan antar atom dengan FTIR, dan analisis reologi dengan RVA. Rancangan penelitian asetilasi dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Rancangan RSM CCD untuk proses asetilasi

Std	Run	Variabel				Respon		
		Kode	Aktual	Kode	Aktual	Daya kembang	Kelarutan	Kapasitas pengikatan air
1	13	-1	8	-1	5			
2	4	1	12	-1	5			
3	12	-1	8	1	15			
4	11	1	12	1	15			
5	3	-1,41	7,17	0	10			
6	5	1,41	12,83	0	10			
7	9	0	10	-1,41	2,93			
8	10	0	10	1,41	17,07			
9	1	0	10	0	10			
10	6	0	10	0	10			
11	8	0	10	0	10			
12	2	0	10	0	10			
13	7	0	10	0	10			

- Tahap 3

Solusi akan diperoleh dari *software Design Expert 11*. Solusi tersebut digunakan untuk memperoleh data dari pati ubi jalar modifikasi dan pati kentang komersial. Solusi tersebut dapat dibandingkan menggunakan uji *paired t-test* dengan *software Minitab 17*. Pati kentang komersial digunakan sebagai pembandingan. Ketiga variabel terikat diamati dan dibandingkan antara pati asetilasi dan pati kentang. Rancangan uji *paired t-test* dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Rancangan uji *paired t-test*

Solusi	Respon					
	Daya kembang		Kelarutan		Kapasitas pengikatan air	
	Prediksi	Validasi	Prediksi	Validasi	Prediksi	Validasi
Solusi 1						
Solusi 2						
Solusi 3						

4.4 Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan dari penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu: penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk melakukan identifikasi dan pembuatan pati ubi jalar putih, sedangkan penelitian utama bertujuan untuk pelaksanaan modifikasi menggunakan asetilasi untuk memperoleh kondisi optimum. Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Pemilihan dan karakterisasi bahan baku ubi jalar putih
- Pembuatan pati ubi jalar

Ubi jalar segar dicuci, dikupas, dipotong, dicelupkan air dingin. Selanjutnya potongan ubi diblender dengan rasio air (1:3 w/v) selama 2 menit dan disaring dan difilter tiga kali. Selanjutnya filtrat didiamkan 1 malam agar mengendap. Residu diperoleh dan dicuci air (rasio 1:2 v/v). Pati diendapkan 6 jam. Pati dikeringkan 35°C, diayak 100 mesh dan pati ubi jalar disimpan.

- Penelitian efek penambahan natrium asetat anhidrat tahap 1

Penelitian efek penambahan natrium asetat anhidrat pada respon dilakukan. Penambahan natrium asetat anhidrat dilakukan sebanyak 0, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 g/100 g pati ubi jalar. Lama proses yang digunakan adalah 10 menit berdasarkan penelitian Mbougoung *et al.* (2012). Respon yang diamati adalah daya kembang (g/g), kelarutan (%), dan kapasitas pengikatan air (%). Perlakuan terbaik diperoleh

dengan penambahan natrium asetat anhidrat 10 g/100 g pati ubi jalar. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada publikasi (Ulfa, Putri, dan Widjanarko 2019) di

Lampiran 5 .

d) Optimasi modifikasi pati asetilasi tahap 2

Sebanyak 100 gram pati dilarutkan 500 ml air distilasi. Campuran diaduk selama 20 menit. pH diatur menjadi 8,0 menggunakan 1M NaOH. Sodium asetat anhidrat ditambahkan setelah 1 jam dengan pH dipertahankan pada 8,0-8,5.

Reaksi terjadi sesuai dengan lama reaksi yang diatur setelah penambahan asetat anhidrat. pH diatur menjadi 4,5 menggunakan 0,5 M HCL. Campuran disaring, dicuci 4 kali menggunakan air suling dan dikeringkan dalam oven suhu 50°C selama 12 jam. Selanjutnya sampel digiling dan diayak dan disimpan.

e) Perbandingan pati asetilasi dengan pati referensi tahap 3

Solusi dari *software Design Expert 11* digunakan untuk memperoleh data dari pati ubi jalar modifikasi dan pati kentang komersial. Solusi tersebut dapat dibandingkan menggunakan uji *paired t-test* dengan *software Minitab 17*. Pati kentang komersial digunakan sebagai pembanding. Ketiga variabel terikat diamati dan dibandingkan antara pati asetilasi dan pati kentang.

4.5 Pengamatan dan Analisis

Pengamatan yang dilakukan dalam penelitian meliputi:

a) Tahap 1

- Karakteristik daya kembang (SP)
- Karakteristik kelarutan (S)
- Kapasitas pengikatan air (WBC)
- Ikatan atom dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)
- Morfologi granula dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

b) Tahap 2

- Karakteristik daya kembang (SP)
- Karakteristik kelarutan (S)
- Kapasitas pengikatan air (WBC)

c) Tahap 3

- Warna
- Derajat keasaman

- Analisis proksimat (Air dan Abu)
 - Total pati
 - Kadar amilosa
 - Kadar amilopektin
- Karakteristik daya kembang (SP)
- Karakteristik kelarutan (S)
- Kapasitas pengikatan air (WBC)
- Ikatan atom dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)
- Sifat pasting dengan Rapid Visco Analyzer (RVA)
- Morfologi granula dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

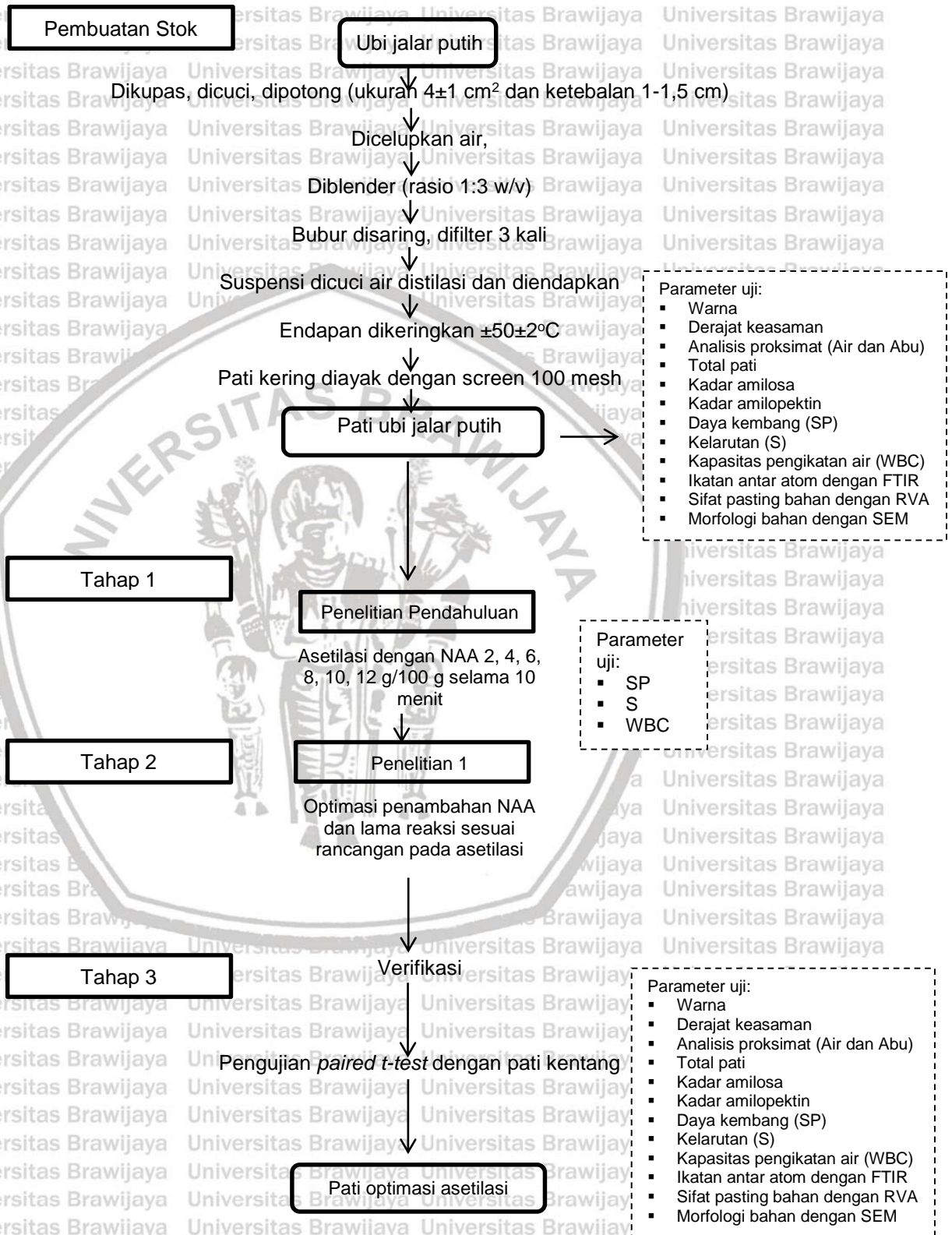
4.6 Analisis Data

Analisis data akhir dilakukan dengan metode RSM dan deskriptif analitatif. Selanjutnya akan dibandingkan pati ubi jalar modifikasi dengan pati kentang komersial. Selanjutnya dilakukan uji *paired (t-test)* dengan Minitab 17.



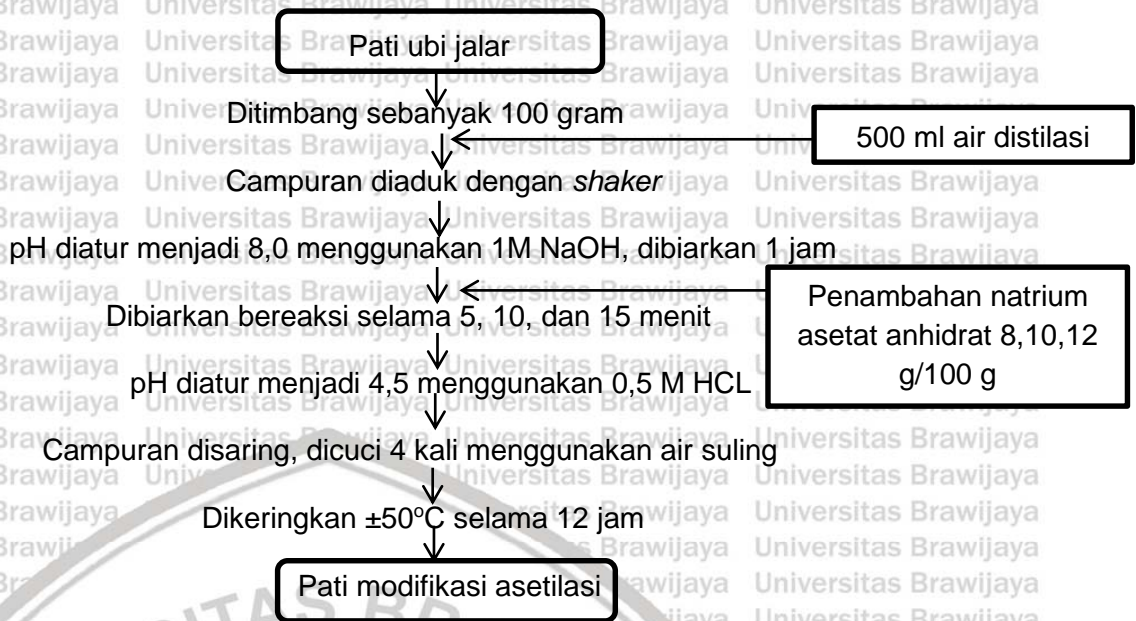
4.7 Diagram Alir Penelitian

4.7.1 Diagram Alir Keseluruhan Penelitian



Gambar 4.2 Diagram alir penelitian secara keseluruhan

4.7.2 Diagram Alir Proses Asetilasi



Gambar 4.3 Diagram alir proses asetilasi



V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Bahan Baku dan Pati Kentang Referensi

Karakteristik bahan baku pati ubi jalar putih dan pati kentang yang dianalisis meliputi kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, kadar pati, derajat kecerahan, pH, kemampuan mengikat air (WBC), daya kembang (SP), dan kelarutan (S). Hasil karakterisasi pati ubi jalar dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Karakteristik kimia dan fisik pati ubi jalar

Parameter	Pati ubi jalar putih	Literatur	Pati kentang	Literatur	p-value
Kadar air (%)	9,41±0,10	8,0-12,4 ^a	15,72±0,04	15,6 ^f	0,000
Kadar abu (%)	0,58±0,02	0,1-0,5 ^a	0,26±0,01	0,31 ^g	0,001
Kadar amilosa (%)	41,40±1,62	12,8-21,3 ^a ; 34,71- 39,00 ^b	50,20±0,12	52,2 ^h	0,006
Kadar amilopektin (%)	51,29±1,73	79,0-87,2 ^a ; 54,06- 57,76 ^b	40,49±0,40	47,8 ^h	0,003
Kadar pati (%)	93,92±1,60	89,76- 94,56 ^b	90,68±0,53	81,87- 82,09 ⁱ	0,020
Derajat kecerahan	85,79±0,03	73,86-83,27 ^c	92,66±0,35	82,68- 83,08 ^j ; Min 90 ^k	0,000
pH	5,9±0,00	4,5-6,5 ^d	6,2±0,00	4,5-6,5 ^k	*
Kapasitas pengikatan air (%)	76,07±0,66	78,1±2,66 ^e	89,91±0,43	91,6 ^l	0,002
Daya kembang (g/g)	16,26±0,52	7,8-27,7 ^a	33,49±1,23	28,0- 31,4 ^m	0,000
Kelarutan (%)	1,54±0,01	1,5-8,7 ^a	5,87±0,14	3,2-6,1 ^m	0,000

Keterangan: (n=3), angka setelah ± adalah standar error, *memiliki nilai yang sama pada standar deviasi, ^aAina *et al.* 2012, ^bGinting *et al.* 2005, ^cMuhdanri *et al.* 2015, ^dWidaningrum, Yuli, dan Munarso 2003, ^eM. Kaur *et al.* 2011 ^fZaidul *et al.* 2007, ^gWootton dan Bamunuarachchi 1978, ^hBoediono 2012, ⁱMartunis 2012, ^jSari, Nurhayati, dan Djumarti 2013, ^kWidaningrum, Yuli, dan Munarso 2003, ^lN. Singh, Chawla, dan Singh 2004, ^mL. Kaur, Singh, dan Singh 2004

Hasil analisis pengujian pati ubi jalar dan pati kentang dapat dilihat pada **Tabel 5.1**. **Tabel 5.1** menunjukkan bahwa semua parameter yang diujikan memberikan nilai berbeda nyata ($\alpha=0,05$) dengan pati kentang komersial.

Parameter pertama adalah kadar air. Kadar air menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan berat bahan yang dapat dinyatakan dalam persen.

Kadar air merupakan komponen penting dalam menentukan kualitas dan daya simpan dari pangan terutama pada produk tepung dan pati. Semakin tinggi kadar air bahan pangan maka semakin cepat rusak, baik akibat adanya aktivitas biologis internal maupun masuknya mikroba perusak. **Tabel 5.1** menunjukkan hasil analisis kadar air bahan baku pati ubi jalar putih sebesar $9,41 \pm 0,10\%$. Aina *et al.* (2012) menyatakan kadar air pati ubi jalar berkisar antara 8,0-12,4%. Peneliti lain menyatakan kadar air pati ubi jalar adalah $12,03 \pm 0,03$ (Nwokocha *et al.* 2014). Analisis kadar air pati kentang adalah sebesar $15,72 \pm 0,04\%$. Peneliti lain juga melaporkan kadar air pati kentang sebesar 15,6% (Zaidul *et al.* 2007) dan $14,64 \pm 0,04$ (Nwokocha *et al.* 2014). Perbedaan kadar air pada bahan pangan dapat disebabkan oleh proses pengeringan yang berbeda. Batas maksimal kadar air pada tepung adalah maksimal 14,5% (tepung singkong) (Suherman, Susanto, dan Busairi 2019; SNI 2009). Kadar air pati hasil penelitian telah memenuhi standar kadar air produk tepung yang baik.

Tabel 5.1 menunjukan kadar abu pati ubi jalar putih sebesar $0,58 \pm 0,02\%$. Kadar abu pati hasil penelitian telah memenuhi standar mutu untuk batas maksimal kadar abu pada tepung adalah 0,7% (SNI 2009). Kadar abu pati ubi jalar putih telah memenuhi standar. Aina *et al.* (2012) menyatakan kadar air pati ubi jalar berkisar antara 0,1-0,5%. Kadar abu pati kentang hasil analisis sebesar $0,26 \pm 0,01\%$. Peneliti lain melaporkan kadar abu pati kentang yaitu sebesar 0,31% (Wootton dan Bamunuarachchi 1978) dan berkisar pada 0,15-0,43 (A. Kaur *et al.* 2007). Analisis kadar abu bertujuan untuk mengetahui besarnya kandungan mineral yang terdapat dalam bahan pangan. Rendahnya kadar abu menunjukkan rendahnya jumlah mineral yang dikandung umbi (Lintang, Layuk, dan Joseph 2017).

Selain varietas dan cara ekstraksi, kandungan mineral air yang digunakan dalam ekstraksi juga dapat memberi kontribusi terhadap kadar abu pati ubi jalar. Air dengan tingkat kesadahan tinggi akan meningkatkan kadar abu, sementara kadar abu yang tinggi tidak dikehendaki karena akan memberikan warna gelap pada produk pati dan olahannya. Adapun faktor lain yang mungkin dapat mempengaruhi kadar abu pada pati ubi jalar putih yaitu suhu pengeringan. Seiring dengan bertambahnya suhu pengeringan maka kadar abu cenderung meningkat (Rizal, Sumarlan, dan Yulianingsih 2013).

Pati terdiri dari amilosa dan amilopektin, sehingga dalam pengukuran dilakukan analisis pati dan amilosa, sedangkan kadar amilopektin berdasarkan

selisih dari kadar pati dengan amilosa. Amilosa merupakan salah satu penyusun pati selain amilopektin. **Tabel 5.1** menunjukkan kadar amilosa pati ubi jalar putih hasil penelitian sebesar $41,40 \pm 1,62\%$, serupa dengan peneliti lain dengan hasil kandungan amilosa pati ubi jalar putih sebesar 34,71-39,00% (Ginting *et al.* 2005) dan 13,2-30% (Lilia S Collado *et al.* 1999). Kadar amilopektin pati ubi jalar putih hasil penelitian sebesar $51,29 \pm 1,73\%$. Kandungan amilopektin pati ubi jalar putih sebesar 54.06-57.76% (Ginting *et al.* 2005). Kadar pati hasil penelitian adalah $93,92 \pm 1,60\%$. Ginting *et al.* (2005) menyatakan kadar pati ubi jalar berkisar 89,76-94,56%. Peneliti lain mengungkapkan kadar pati ubi jalar berkisar antara 93-99% (Lilia S Collado *et al.* 1999).

Sedangkan kadar amilosa pati kentang sebesar $50,20 \pm 0,12\%$ (**Tabel 5.1**). Peneliti lain menyatakan kandungan amilosa pati kentang sebesar 52,2% (Boediono 2012). Sedangkan kadar amilopektin pati kentang hasil penelitian sebesar $40,49 \pm 0,40\%$. Kandungan amilopektin pati kentang sebesar 47,8% (Boediono 2012). Kadar pati hasil penelitian adalah $90,68 \pm 0,53\%$. Peneliti lain menemukan kadar pati pati kentang adalah 81,87-82,09% (Martunis 2012).

Perbedaan kadar amilosa dan amilopektin dapat disebabkan oleh perbedaan umur pemanenan, iklim dan lokasi penanamannya. Selain itu, varietas yang ubi jalar yang digunakan pada penelitian berbeda dengan literatur. Hal tersebut dapat mempengaruhi perbedaan kandungan amilosa, amilopektin, dan pati dari ubi jalar penelitian dengan hasil literatur. Pada pati yang digunakan pada penelitian, ekstraksi juga masih dilakukan secara sederhana sehingga kemungkinan tercampurnya pati ubi jalar dengan komponen polisakarida non pati lainnya seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa masih terdapat di dalam pati. Hal ini dapat menyebabkan nilai kadar air maupun parameter lainnya terpengaruhi saat dilakukan pengujian.

Kandungan pada bahan pangan dapat dipengaruhi beberapa faktor seperti spesies, keadaan unsur hara tanah, keadaan kematangan tanaman, iklim, daerah tempat tumbuh, dan pelaksanaan penanaman (Lintang, Layuk, dan Joseph 2017; Labuschagne, Geleta, dan Osthoff 2007). Rendahnya kadar pati pada bahan baku pati penelitian ini dapat disebabkan selama penyimpanan ubi jalar putih akan mengalami proses perombakan pati menjadi gula sederhana. Proses tersebut diduga juga dipengaruhi oleh tingkat respirasi. Semakin tinggi laju respirasi, perubahan pati menjadi gula sederhana akan semakin cepat. Kadar pati umumnya meningkat sejalan dengan meningkatnya umur panen. Semakin tua umur panen

ubi kayu, semakin tinggi kadar pati yang dihasilkan. Rendahnya kadar pati juga diduga karena meningkatnya komponen non pati seperti komponen serat kasar yang meliputi selulosa, hemiselulosa dan lignin (Nurdjanah *et al.* 2019). Kadar pati yang rendah juga dipengaruhi oleh kandungan serat bahan dan proses penggilingan (Lintang, Layuk, dan Joseph 2017).

Jumlah fraksi amilosa-amilopektin sangat berpengaruh pada profil gelatinisasi pati. Amilosa memiliki ukuran yang lebih kecil dengan struktur tidak bercabang. Amilosa mempengaruhi sifat pembentukan gel. Pati dengan kadar amilosa rendah jika dibuat pasta akan bersifat lunak dan relatif tidak membentuk gel yang kokoh (Ginting *et al.* 2005). Sementara amilopektin merupakan molekul berukuran besar dengan struktur bercabang banyak dan membentuk *double helix*. Amilopektin bersifat merangsang terjadinya proses mekar (*puffing*) pada produk pangan (Nurdjanah *et al.* 2019).

Nilai L (Lightness) merupakan parameter yang menyatakan cahaya pantul yang menghasilkan warna kromatik putih, abu-abu, dan hitam. Nilai L berhubungan dengan derajat kecerahan yang memiliki nilai antara 0–100 pada alat color reader. Nilai L yang mendekati 100 menunjukkan sampel yang dianalisis memiliki kecerahan tinggi (terang/putih) sedangkan nilai L yang mendekati nol menunjukkan sampel memiliki kecerahan rendah (gelap/hitam). Kecerahan warna merupakan salah satu faktor daya tarik konsumen dalam mengonsumsi suatu produk yang dihasilkan terutama produk jenis tepung pati.

Hasil analisis derajat kecerahan **Tabel 5.1** rata-rata yang dimiliki pati ubi jalar putih penelitian ini adalah $85,79 \pm 0,03$, sedikit lebih tinggi dari penelitian lain yaitu 73,86-83,27 (Muhdanri *et al.* 2015) dan 79,683 (Sunyoto *et al.* 2016). Kendati demikian, hasil ini lebih rendah dari batas standar nilai L pada bahan pangan yaitu 90 (Widaningrum, Yuli, dan Munarso 2003). Sedangkan analisis derajat kecerahan rata-rata pati kentang adalah $92,66 \pm 0,35$. Hasil ini lebih tinggi dari peneliti lain yang menyatakan derajat kecerahan pati kentang hasil ekstraksi adalah kisaran 82,68-63,08 (Sari, Nurhayati, dan Djumarti 2013). Perbedaan derajat kecerahan ini terutama dipengaruhi oleh faktor jenis dan genetik. Standar nilai L 90 yang digunakan adalah pati sagu, sedangkan subyek penelitian ini adalah ubi jalar.

Nilai kecerahan pati ubi jalar meningkat pada pati ubi jalar yang digunakan pada penelitian. Perbedaan dengan literatur diduga disebabkan menggunakan varietas ubi jalar yang berbeda dari literatur. Faktor genetik juga mempengaruhi warna pati dalam dua hal, yaitu secara tidak langsung dan secara langsung.

Secara tidak langsung mempengaruhi melalui kandungan komponen lain yang terdapat pada bahan yang mengandung pati dan secara langsung mempengaruhi melalui tingkat keputihan pati. Bahan hasil pertanian yang mengandung pati biasanya juga mengandung komponen lain seperti pigmen, polifenol oksidase, dan senyawa fenolik yang dapat dengan mudah mengalami proses denaturalisasi dan browning selama proses ekstraksi pati dan pengeringan (Thao dan Noomhorm 2011). Selain itu kadar mineral bahan juga dapat mempengaruhi warna pati yang dapat dikonfirmasi dengan hasil kadar abu pati. Kandungan mineral yang lebih besar pada pati menyebabkan warna pati lebih menjadi lebih gelap.

Nilai pH merupakan salah satu indikator penerimaan terhadap produk tepung. Nilai pH pati ubi jalar putih dapat mempengaruhi sifat fungsional pati, diantaranya sifat gelatinisasi. **Tabel 5.1** menunjukkan pH pati ubi jalar putih sebesar $5,9 \pm 0,00$. Sedangkan pH pati kentang penelitian sebesar $6,2 \pm 0,0$. Hasil penelitian memenuhi syarat kelayakan produk sesuai ketentuan SNI pada kisaran 5-7 (Widaningrum, Yuli, dan Munarso 2003). Nilai pH pada pati dapat dipengaruhi oleh proses pengolahan, terutama pada saat proses ekstraksi. Pati ubi jalar putih yang digunakan dalam penelitian di peroleh dari Industri kecil, Pada industri kecil proses ekstraksi pati dilakukan melalui pengendapan berjam-jam. Hal ini memungkinkan terjadinya proses fermentasi alami oleh mikroba.

Kapasitas pengikatan air menunjukkan kemampuan suatu komponen untuk berikatan dengan air dalam kondisi jumlah air yang terbatas (Rauf dan Sarbini 2015). Nilai kapasitas pengikatan air pati dipengaruhi oleh keberadaan gugus hidrofilik yang dapat menahan air karena kemampuannya membentuk ikatan hidrogen (Mbougoung *et al.* 2012; Betancur, Chel, dan Can 1997). Hasil kapasitas pengikatan air pati ubi jalar putih alami pada **Tabel 5.1** adalah sebesar $76,07 \pm 0,66\%$. Peneliti lain melaporkan kapasitas pengikatan air pati adalah $78,1 \pm 2,66$ (M. Kaur *et al.* 2011). Sedangkan kapasitas pengikatan air pati kentang penelitian pada **Tabel 5.1** adalah sebesar $89,91 \pm 0,43\%$. Peneliti lain melaporkan hasil $91,6$ (N. Singh, Chawla, dan Singh 2004) dan $93,4-99,8\%$ (L. Kaur, Singh, dan Sodhi 2002).

Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka kapasitas pengikatan air akan meningkat (M. Kaur *et al.* 2011). Keberagaman nilai kapasitas pengikatan air pati kemungkinan dipengaruhi oleh ketidaksamaan area pengikatan air yang tersedia di dalam granula akibat jumlah gugus hidrofilik yang berbeda (Wootton dan Bamunuarachchi 1978; Wang *et al.* 2020). Faktor yang mempengaruhi nilai WBC

adalah sumber pati, variasi struktur granula, dan interaksi antara amilosa dan amilopektin (Gujral, Sharma, dan Kaur 2011).

Tabel 5.1 menunjukkan hasil analisis daya kembang pada bahan baku pati ubi jalar putih yaitu sebesar $16,26 \pm 0,52$ g/g. Hasil penelitian berada pada kisaran penelitian Aina *et al.* (2012) yaitu sebesar 7,8-27,7g/g. Peneliti lain juga menyatakan pati ubi jalar memiliki daya kembang berkisar 16,50-18,45g/g (Muhdanri *et al.* 2015). Hasil analisis daya kembang pati kentang sebesar $33,49 \pm 1,23$ g/g. Daya kembang pati kentang berkisar 28,0-31,4g/g (Kaur, Singh, dan Singh 2004). Daya kembang dapat mengukur ketahanan ikatan antar granula pati. Granula dengan lebih banyak area kristalin dan dengan ikatan yang kuat di area kristalin akan lebih susah mengalami pengembangan di air dingin atau ketika dipanaskan dalam bentuk pasta, membentuk viskositas yang rendah dengan kecenderungan retrogradasi yang tinggi (Aina *et al.* 2012).

Pengembangan merupakan sifat yang ditunjukkan oleh amilopektin. Proporsi yang tinggi pada rantai cabang amilopektin berkontribusi dalam peningkatan nilai pengembangan. Daya kembang berkorelasi negatif dengan kadar amilosa dan berkorelasi positif dengan suhu gelatinisasi (Li dan Yeh 2001). Amilosa juga dapat membentuk kompleks dengan lipida dalam pati, sehingga dapat menghambat pengembangan granula (Richard F. Tester dan Karkalas 1996). Faktor yang mempengaruhi daya kembang adalah intensitas jaringan tiga dimensi pada granula pati, derajat ikatan pada molekul, cabang molekul amilopektin, serta komponen non pati lainnya seperti lipida (Aina *et al.* 2012). Perbedaan peristiwa pembengkakan diantara pati juga dipengaruhi oleh ukuran granula, kristalinitas, kandungan kompleks amilosa-lipid, dan interaksi antar rantai pati pada daerah amorf (Bertolini 2010).

Hasil analisis kelarutan pada bahan baku pati ubi jalar putih dapat dilihat pada **Tabel 5.1** sebesar $1,54 \pm 0,01$ %. Kelarutan pada bahan baku pati ubi jalar putih menurut hasil penelitian lebih rendah dibandingkan dengan peneliti lain sebesar 1,5-8,7% (Aina *et al.* 2012). Sedangkan kelarutan pati kentang sebesar $5,87 \pm 0,14$ %. Nilai kelarutan Pati kentang peneliti lain diketahui sebesar 3,2-6,1% (Kaur, Singh, dan Singh 2004) dan 2,59-34,67% (Kaur *et al.* 2007). Kelarutan meningkat seiring dengan peningkatan suhu untuk semua jenis pati. Semakin tinggi suhu pemanasan maka ikatan hidrogen antar molekul semakin lemah, sehingga molekul amilosa semakin banyak lepas dari granula dan larut dalam suspensi pati (Li dan Yeh 2001).

Peningkatan kerusakan dari struktur kristalin terjadi ketika pati dipanaskan dalam keberadaan air, sehingga meningkatkan pengembangan granula dan kelarutan pada suhu yang semakin tinggi (Aina *et al.* 2012). Faktor lain yang dapat mempengaruhi kelarutan adalah sumber pati, ikatan antar molekul pada area amorf dan kristalin, daya kembang, dan keberadaan komponen lain seperti fosfor (Mat *et al.* 1992; Ambigaipalan *et al.* 2014).

5.2 Penentuan Konsentrasi Natrium Asetat Anhidrat

Daya kembang dan kelarutan pati ubi jalar alami berkisar antara 16,26-30,41 g/g dan 1,58-5,24% (Tabel 5.2). Pati alami ubi jalar diketahui memiliki daya kembang 7,8-31,1 g/g dan kelarutan 1,5-9,5% (Aina *et al.* 2012). Respon daya kembang dan kelarutan memiliki kecenderungan untuk naik. Namun, peningkatan daya kembang dan kelarutan diamati pada penambahan natrium asetat anhidrat sebanyak 8 g/100 g dan 10 g/100 g. Selanjutnya diduga terjadi kejenuhan larutan sehingga tidak terjadi peningkatan respon pada daya kembang dan kelarutan. Kejenuhan larutan ini pula yang kemungkinan menyebabkan penurunan respon yang diamati. Daya kembang menunjukkan interaksi antara daerah amorf dan kristalin pada (Takizawa, Oliveira, dan Konkel 2004). Asetilasi dapat meningkatkan daya kembang pati (Betancur, Chel, dan Can 1997; Singh, Kaur, dan Singh 2004). Hal ini disebabkan oleh keberadaan gugus asetil sebagai gugus substitusi hidrofilik yang mampu membentuk ikatan hidrogen. Peningkatan ini dapat menyebabkan penahanan air yang memasuki granula, meningkatkan daya kembang dan kejernihan pasta (Betancur, Chel, dan Can 1997). Hasilnya diperoleh pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Efek penambahan natrium asetat anhidrat terhadap pati ubi jalar

Natrium asetat anhidrat (g)	Daya kembang (g/g)	Kelarutan (%)	Kapasitas pengikatan air (%)
0 (Native)	16,26±0,52 ^e	1,58±0,07 ^f	76,07±0,42 ^d
2	24,96±0,91 ^d	2,69±0,09 ^d	90,27±0,56 ^c
4	28,96±1,23 ^b	3,13±0,14 ^c	94,09±2,03 ^b
6	29,39±0,83 ^{ab}	3,27±0,10 ^{bc}	96,99±2,28 ^b
8	30,41±0,22 ^a	3,53±0,07 ^b	97,17±1,53 ^b
10	26,24±0,27 ^{cd}	5,24±0,26 ^a	107,50±0,84 ^a
12	28,11±0,33 ^{bc}	2,05±0,05 ^e	88,46±0,28 ^c

Keterangan: n=3

Asetilasi juga meningkatkan nilai kelarutan pati (Betancur, Chel, dan Can 1997; J. Singh, Kaur, dan Singh 2004; Mbougoung *et al.* 2012). Kelarutan meningkat karena modifikasi asetilasi dapat melemahkan granula akibat terjadinya pengaturan ulang struktur pati. Hal ini menyebabkan *leaching* amilosa dari dalam granula pati (Halal *et al.* 2015).

Nilai kapasitas penyerapan air pati ubi jalar berkisar antara 76.07-107.50% (Tabel 5.2). M. Kaur *et al.* (2011) juga mengungkapkan bahwa kapasitas penyerapan air pati ubi jalar adalah $78,1 \pm 2,66\%$. Namun, peningkatan kapasitas pengikatan air diamati maksimal pada penambahan natrium asetat anhidrat sebanyak 10 g/100 g pati. Ketika pati dipanaskan dengan adanya air, ikatan hidrogen yang menstabilkan struktur kristalin akan terputus dan menyebabkan terganggunya ikatan hidrogen dengan air (Richard F. Tester dan Karkalas 1996).

Asetilasi dapat meningkatkan kapasitas pengikatan air pati karena keberadaan gugus substitusi hidrofilik yang mampu menahan air karena mampu membentuk ikatan hidrogen (Betancur, Chel, dan Can 1997; J. Singh, Kaur, dan Singh 2004; Mbougoung *et al.* 2012). Perbedaan nilai kapasitas pengikatan air pada pati dipengaruhi oleh ketidaksamaan ketersediaan daerah pengikatan air yang tersedia di dalam granula pati (Wootton dan Bamunuarachchi 1978).

Berdasarkan penelitian mengenai efek penambahan natrium asetat anhidrat terhadap pati ubi jalar, titik tengah pada rancangan percobaan RSM diperoleh. Nilai 10 g/100 g diambil sebagai titik tengah dari proses optimasi menggunakan RSM. Rancangan penelitian dapat dilihat pada metode penelitian.

5.3 Proses Optimasi Penambahan Natrium Asetat Anhidrat dan Lama

Waktu Modifikasi Pati Ubi Jalar Asetilasi

Proses optimasi penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi asetilasi pada pati ubi jalar putih dengan respon daya kembang (g/g), kelarutan (%), dan kapasitas pengikatan air (%) disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Data respon pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon pada pati ubi jalar

Std	Run	Variabel				Respon		
		Kode	Aktual	Kode	Aktual	Daya kembang	Kelarutan	Kapasitas pengikatan air
1	13	-1	8	-1	5	23,70±0,89	2,65±0,06	88,62±5,44
2	4	1	12	-1	5	26,86±1,31	3,21±0,06	93,15±1,50
3	12	-1	8	1	15	36,90±0,73	4,72±0,14	99,64±0,51
4	11	1	12	1	15	29,23±0,26	4,30±0,25	85,55±2,88
5	3	-1,41	7,17	0	10	33,40±1,83	3,49±0,16	92,15±1,08
6	5	1,41	12,83	0	10	30,06±0,89	3,66±0,32	85,41±1,11
7	9	0	10	-1,41	2,93	20,79±0,16	2,96±0,05	92,85±0,71
8	10	0	10	1,41	17,07	32,17±0,62	5,15±0,04	96,26±0,05
9	1	0	10	0	10	34,31±0,85	5,91±0,01	101,41±5,15
10	6	0	10	0	10	34,37±1,19	6,58±0,10	103,80±5,05
11	8	0	10	0	10	33,88±1,09	6,05±0,21	100,60±5,02
12	2	0	10	0	10	34,76±1,04	6,28±0,04	102,42±0,13
13	7	0	10	0	10	34,17±1,35	6,21±0,02	100,89±3,72

Respon daya kembang berkisar antara 20,79-34,76g/g, kelarutan berkisar antara 2,65-6,58%, dan kapasitas pengikatan air berkisar antara 88,62-103,80%.

Ketiga respon akan mencapai maksimum sampai pada batas penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi tertentu kemudian akan menurun seiring dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi. Hal tersebut kemungkinan terjadi akibat disintegrasi struktur granula pati (Halal *et al.* 2015).

Selain itu, kejenuhan pada larutan juga diduga menyebabkan penurunan nilai respon yang diamati. Respon hasil dari kedua faktor tersebut yaitu daya kembang (g/g), kelarutan (%), dan kapasitas pengikatan air (%). Daya kembang menunjukkan kemampuan pati untuk mengembang dalam air. Daya kembang yang tinggi berarti semakin tinggi pula kemampuan pati mengembang dalam air.

Daya kembang menunjukkan interaksi antara area amorf dan kristalin dalam granula pati (Takizawa, Oliveira, dan Konkel 2004). Nilai kelarutan merupakan indikator banyaknya amilosa yang keluar dari granula pati. Ketika pati dipanaskan dalam air, sebagian amilosa akan keluar dari granula pati dan larut dalam air.

Presentase pati yang larut dalam air dapat diukur dengan mengeringkan supernatan yang dihasilkan saat analisis daya kembang (M. Kaur *et al.* 2011; Lee dan Yoo 2011).

Selanjutnya nilai kapasitas pengikatan air akan menunjukkan kemampuan pati dalam mengikat air. Kemampuan ini penting dalam beragam proses industri.

Nilai kapasitas pengikatan air pati dipengaruhi oleh keberadaan gugus hidrofilik yang dapat menahan air karena kemampuannya membentuk ikatan hidrogen (Mbougoung *et al.* 2012; Betancur, Chel, dan Can 1997). Kapasitas pengikatan air merupakan kecenderungan air untuk berasosiasi dengan bagian hidrofilik (Wootton dan Bamunuarachchi 1978). Produk pangan dengan kapasitas pengikatan air rendah tidak bisa mengikat air dengan efektif sehingga kurang disukai.

Asetilasi pati adalah metode modifikasi kimiawi yang diproduksi dengan menggunakan asetat anhidrat dan katalis basa (Bello-pérez *et al.* 2010). Proses asetilasi bergantung pada waktu reaksi, katalis, asal pati, konsentrasi reagen, dan karakteristik struktural granula pati (H. Singh, Sodhi, dan Singh 2012; Colussi *et al.* 2015). Asetilasi dapat meningkatkan kekuatan pembengkakan, meningkatkan kapasitas penyerapan air/minyak, meningkatkan kapasitas pembentukan gel dan menurunkan suhu *pasting*, viskositas puncak, viskositas *final*, dan *seatback viscosity*, juga meningkatkan kejernihan pasta (Chibuzo, 2012).

Studi pada pati asetilasi jagung, kentang, dan ubi jalar menunjukkan peningkatan daya kembang dan kelarutan (Mbougoung *et al.* 2012; Das *et al.* 2010; N. Singh, Chawla, dan Singh 2004; H. Lee dan Yoo 2009). Asetilasi juga dapat meningkatkan kapasitas pengikatan air karena keberadaan gugus substitusi hidrofilik (Betancur, Chel, dan Can 1997; Mbougoung *et al.* 2012).

Pada **Lampiran 3**, diketahui nilai p-value *sequential model sum of square* menunjukkan model yang signifikan dan disarankan pada respon daya kembang adalah kuadratik, karena nilai p-value $<0,0001$. Hasil Perhitungan ketidaktepatan model (*lack of fit test*) adalah $>0,05$ yaitu 0,9044, sehingga model yang dianjurkan pada respon daya kembang adalah kuadratik. Pada respon kelarutan nilai p-value $<0,0001$ pada *sequential model sum of square*. Hasil Perhitungan ketidaktepatan model untuk kelarutan adalah 0,9556, sehingga model yang dianjurkan pada respon kelarutan adalah kuadratik. Pada respon kapasitas pengikatan air nilai *sequential model sum of square* memiliki p-value $<0,0001$. Hasil perhitungan ketidaktepatan model adalah 0,7992, sehingga model yang disarankan pada respon kapasitas pengikatan air adalah kuadratik.

Nilai p-value kurang dari 0,05 menunjukkan model bersifat signifikan dan berpengaruh lebih besar pada respon daripada model yang lain (Mcshane *et al.* 2017). Proses pemilihan model berdasarkan ringkasan model secara statistik

(*model summary statistics*) menunjukkan model yang memenuhi kriteria adalah model kuadrat.

Model yang sesuai untuk peningkatan daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pada proses modifikasi pati ubi jalar putih asetilasi adalah model kuadrat berdasarkan pada pemilihan model tersebut. Hasil analisis ragam dari permukaan respon kuadrat menunjukkan model kuadrat mempunyai pengaruh nyata terhadap respon. Model kuadrat ini merupakan model yang dapat menjelaskan kompleksitas interaksi antara faktor-faktor yang digunakan.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan natrium asetat anhidrat dan semakin lamanya reaksi maka daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air semakin meningkat hingga titik tertentu.

Penambahan natrium asetat anhidrat (kuadrat) dan lama reaksi (kuadrat) diduga telah mencapai kondisi terbaik untuk menghasilkan daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati optimum. Pada proses asetilasi, inkorporasi gugus asetil akan mengurangi interaksi antar molekul pati dan meningkatkan kelarutan serta daya kembang granula pati.

Asetilasi dapat meningkatkan daya kembang karena mengurangi interaksi antar molekul pati karena meningkatnya hidrofilitas pati akibat gugus asetil (Raina *et al.* 2006; H. Lee dan Yoo 2009). Perbedaan kapasitas pengembangan granula pada pati dipengaruhi oleh kekuatan ikatan di dalam granula pati (Huber dan Bemiller 2001). Keberadaan gugus substitusi hidrofilik yang menahan molekul air dan membentuk ikatan hidrogen (N. Singh, Chawla, dan Singh 2004; Betancur, Chel, dan Can 1997). Keberadaan gugus ini akan memfasilitasi masuknya air ke area amorf karena terjadinya disorganisasi struktur intragranula akibat efek sterik dan disrupsi ikatan hidrogen pada granula pati (Gonzalez dan Perez 2002). Air akan ditahan ketika memasuki granula, sehingga granula pati akan mengembang dan meningkatkan kejernihan pasta (Betancur, Chel, dan Can 1997).

Daya kembang dapat mengukur ketahanan ikatan antar granula pati. Granula dengan lebih banyak area kristalin dan dengan ikatan yang kuat di area kristalin akan lebih susah mengalami pengembangan di air dingin atau ketika dipanaskan dalam bentuk pasta, membentuk viskositas yang rendah dengan kecenderungan retrogradasi yang tinggi (Aina *et al.* 2012). Pengembangan merupakan sifat yang ditunjukkan oleh amilopektin. Proporsi yang tinggi pada rantai cabang amilopektin berkontribusi dalam peningkatan nilai pengembangan. SP berkorelasi negatif dengan kadar amilosa dan berkorelasi positif dengan suhu

gelatinisasi (Li dan Yeh 2001). Amilosa juga dapat membentuk kompleks dengan lipida dalam pati, sehingga dapat menghambat pengembangan granula (Richard F. Tester dan Karkalas 1996). Faktor yang mempengaruhi daya kembang adalah intensitas jaringan tiga dimensi pada granula pati, derajat ikatan pada molekul, cabang molekul amilopektin, serta komponen non pati lainnya seperti lipida (Aina *et al.* 2012).

Masuknya gugus asetil akan mengurangi interaksi antara molekul pati sehingga meningkatkan kelarutan dan daya kembang pati. Asetilasi juga memfasilitasi masuknya air ke area amorf, karena disorganisasi struktur intragranula yang disebabkan efek sterik dan disrupsi ikatan hidrogen di granula pati (Raina *et al.* 2006). Pati asetilasi yang memiliki lebih banyak gugus asetil menunjukkan kelarutan yang lebih besar (Sodhi dan Singh 2005). Peningkatan daya kembang dan kelarutan pati asetilasi disebabkan oleh reduksi interaksi antar rantai pati akibat meningkatnya hidrofilisitas pati setelah penambahan gugus asetil (H. Lee dan Yoo 2009). Faktor lain yang dapat mempengaruhi kelarutan adalah sumber pati, ikatan antar molekul pada area amorf dan kristalin, daya kembang, dan keberadaan komponen lain seperti fosfor (Mat *et al.* 1992; Ambigaipalan *et al.* 2014).

Terdapat tiga mekanisme yang memungkinkan asetilasi mempengaruhi interaksi antar rantai pati. i) Rintangan sterik sederhana yang mencegah asosiasi jarak dekat rantai pati untuk membentuk ikatan hidrogen; ii) Merombak hidrofilisitas pati dan mempengaruhi pengikatan molekul air; iii) Partisipasi gugus asetil dalam meningkatkan ikatan hidrogen dengan rantai pati lainnya (Huijun Liu, Ramsden, dan Corke 1998).

ANOVA daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air dari model kuadratik menghasilkan persamaan aktual sebagai berikut:

Persamaan Aktual

$$Y_1 = -42,45727 + 8,48884X_1 + 6,67148X_2 - 0,270730 X_1 X_2 - 0,317968 X_1^2 - 0,159260 X_2^2$$

Keterangan: Y₁=Respon daya kembang (g/g), X₁=Penambahan natrium asetat anhidrat (g/100g), X₂=Lama reaksi (menit)

$$Y_2 = -35,90819 + 6,96254X_1 + 1,28132X_2 - 0,024574 X_1 X_2 - 0,334683 X_1^2 - 0,043964 X_2^2$$

Keterangan: Y_2 =Respon kelarutan (%), X_1 =Penambahan natrium asetat anhidrat (g/100g), X_2 =Lama reaksi (menit)

$$Y_3 = - 113,31205 + 36,89575X_1 + 7,22105X_2 - 0,465459X_1 X_2 - 1,67172X_1^2 - 0,123100X_2^2$$

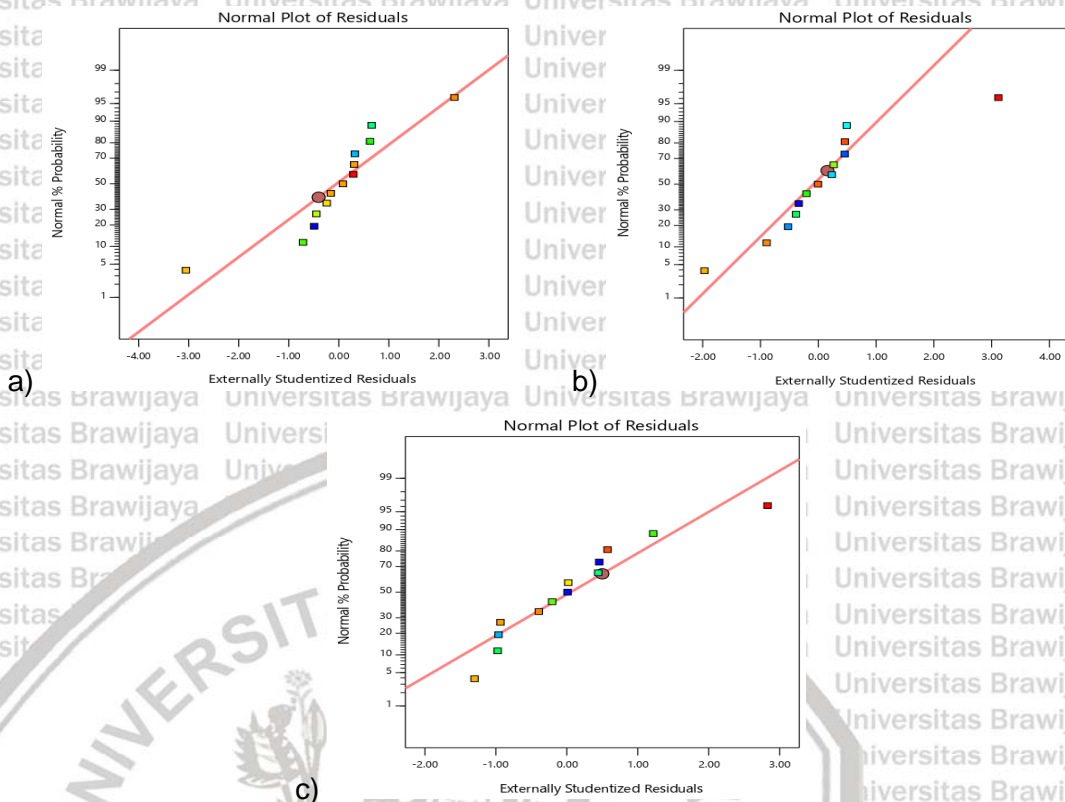
Keterangan: Y_3 =Respon kapasitas pengikatan air (%), X_1 =Penambahan natrium asetat anhidrat (g/100g), X_2 =Lama reaksi (menit)

Respon daya kembang meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya natrium asetat anhidrat dan lama reaksi asetilasi. Variabel X_1X_2 , X_1^2 , dan X_2^2 yang memiliki konstanta negatif mengindikasikan adanya titik stationer maksimum dari permukaan respon, atau grafik parabola terbuka kebawah.

Respon kelarutan akan meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya natrium asetat anhidrat dan lama reaksi asetilasi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai konstanta yang positif. Sehingga dari persamaan regresi respon kelarutan dapat disimpulkan peningkatan dan penurunan kelarutan granula pati dipengaruhi oleh faktor penambahan natrium asetat anhidrat dan dipengaruhi oleh faktor lama reaksi asetilasi. Dalam persamaan tersebut variabel X_1X_2 , X_1^2 , dan X_2^2 memiliki konstanta negatif yang mengindikasikan adanya titik stationer maksimum dari permukaan respon, atau grafik parabola terbuka kebawah.

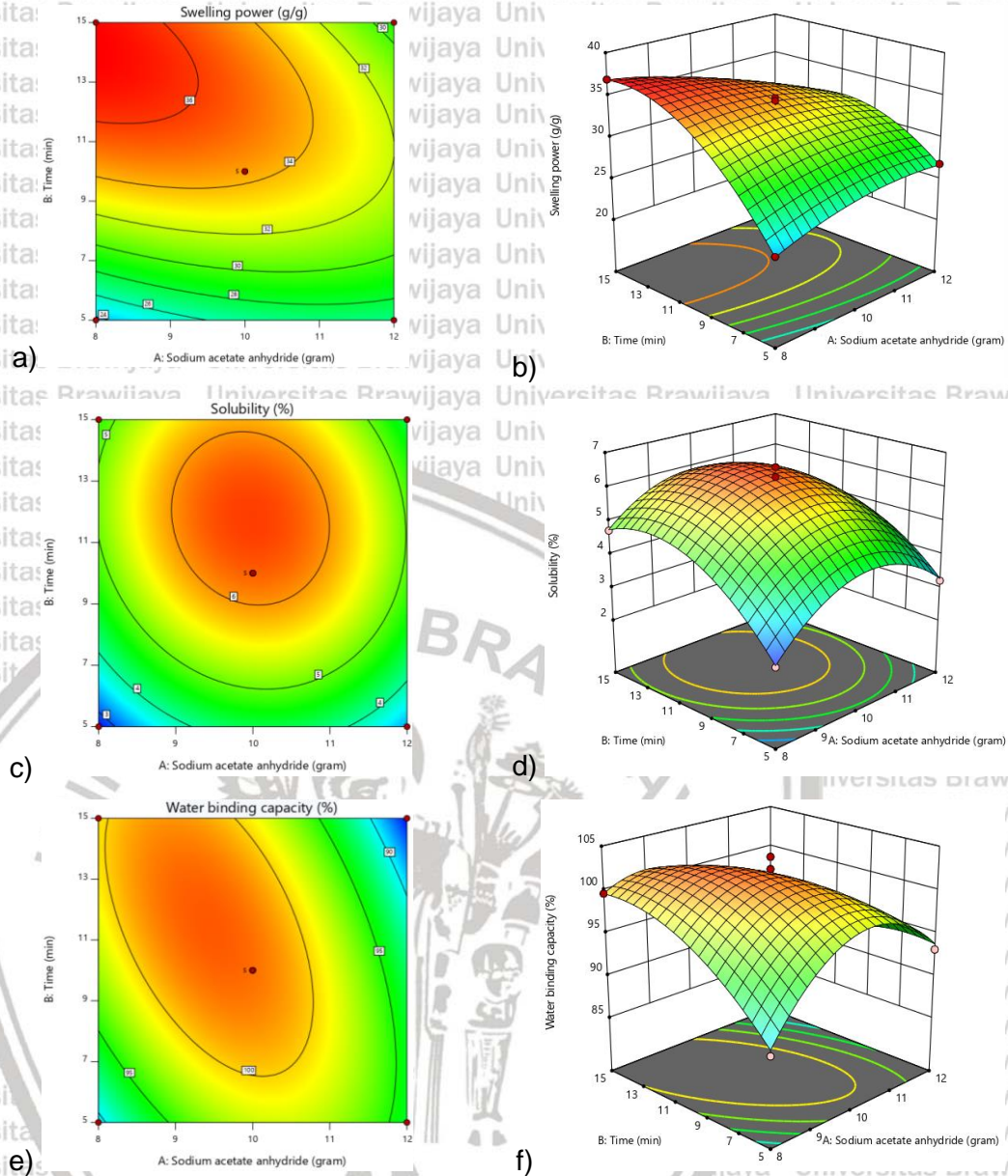
Nilai konstanta persamaan kapasitas pengikatan air pada faktor yang positif menunjukkan bahwa kapasitas pengikatan air akan meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya natrium asetat anhidrat dan lama reaksi asetilasi. Peningkatan dan penurunan kapasitas pengikatan air granula pati dipengaruhi oleh faktor penambahan natrium asetat anhidrat dan dipengaruhi oleh faktor lama reaksi asetilasi. Dalam persamaan tersebut variabel X_1X_2 , X_1^2 , dan X_2^2 memiliki konstanta negatif yang mengindikasikan adanya titik stationer maksimum dari permukaan respon, atau grafik parabola terbuka kebawah.

Grafik uji kenormalan (**Gambar 5.1**) akan menggambarkan pendistribusian sebaran data. Grafik ini dapat digunakan untuk mengetahui model terpilih telah signifikan. Hubungan antara variabel penambahan natrium asetat anhidrat (X_1) dan lama reaksi (X_2) terhadap respon digambarkan melalui kontur plot dan grafik permukaan respon. Respon digambarkan dalam kontur-kontur plot yang masing-masing koordinatnya menunjukkan taraf setiap variabel. Satu kontur yang muncul merupakan perwakilan dari spesifik tinggi permukaan respon.



Gambar 5.1 Grafik normal *Plot of Residuals* terhadap respon a) daya kembang; b) kelarutan, c) kapasitas pengikatan air

Gambar 5.1 menunjukkan rata-rata titik residual berada mendekati sepanjang garis normal. Data respon daya kembang, kelarutan, maupun kapasitas pengikatan air menyebar dengan normal. Hubungan antara faktor penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi juga digambarkan oleh sebuah grafik kontur dalam bentuk 2D dan 3D. Grafik kontur **Gambar 5.2** menunjukkan kondisi kedua faktor dimana nilai respon maksimal akan ditandai dengan wilayah bertingkat kecerahan merah.



Gambar 5.2 Gambar a) 2D dan b) 3D pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon daya kembang; c) 2D dan d) 3D pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon kelarutan; e) 2D dan f) 3D pengaruh penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi terhadap respon daya kembang

Gambar 5.2 menunjukkan grafik kontur 2 dimensi, terlihat warna yang nampak pada titik tengah gambar adalah jingga kemerahan. Kontur plot terlihat warna jingga pudar melingkar yang semakin melebar diikuti dengan gradasi warna kuning menuju biru. Warna jingga pada grafik menunjukkan hasil daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air tertinggi sementara warna biru

menunjukkan hasil terendah. Semakin kuat perbedaan warna yang ada menunjukkan perbedaan nilai yang semakin besar.

Terdapat 5 titik merah pada bagian tengah gambar yang mendandakan lima *center point* atau titik pusat dari percobaan yang dilakukan, sehingga dalam kombinasi percobaan terdapat lima titik penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi asetilasi yang sama. Dari gambar juga dapat diketahui titik pusat tidak tepat pada bagian tengah lingkaran, melainkan sedikit bergeser ke arah kiri. Kondisi tersebut diartikan nilai respon daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air optimum akan diperoleh dengan membuat kedua faktor sedikit bergeser dari titik pusatnya.

Parabola terbuka kebawah menjelaskan daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati akan mengalami peningkatan hingga sampai titik optimum dan setelahnya cenderung mengalami penurunan. Peningkatan maupun penurunan respon daya kembang diduga karena perlakuan asetilasi pada pati yang berbeda-beda tergantung pada kondisi proses (M. Kaur *et al.* 2011; Mbougoung *et al.* 2012; N. Singh, Chawla, dan Singh 2004). Lama reaksi asetilasi pada proses modifikasi juga berpengaruh signifikan terhadap nilai daya kembang pati. Data pada **Tabel 5.3** dan **Gambar 5.2 (b)** menunjukkan pati asetilasi memiliki daya kembang granula pati yang semakin tinggi sesuai dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan semakin lamanya reaksi asetilasi hingga mencapai titik optimal sekitar 10 g/100g selama 10 menit, kemudian daya kembang akan menurun seiring dengan bertambahnya natrium asetat anhidrat. Penurunan ini diduga disebabkan larutan telah mengalami kejenuhan sehingga reaksi asetilasi yang terjadi tidak dapat berlangsung dengan optimal.

Data **Tabel 5.3** menunjukkan nilai daya kembang cenderung rendah ketika penambahan natrium asetat anhidrat rendah (di bawah 10 g/100g). Peningkatan daya kembang dapat terjadi seiring dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan semakin lamanya waktu reaksi hingga titik tertentu. Hal ini kemungkinan karena semakin banyaknya gugus asetil yang tersedia sebagai gugus substitusi hidrofilik yang mampu membentuk ikatan hidrogen. Semakin banyaknya ikatan hidrogen terjadi bersamaan dengan semakin banyaknya air masuk ke dalam granula pati, sehingga daya kembang akan semakin meningkat (Betancur, Chel, dan Can 1997).

Peningkatan daya kembang juga dapat terjadi karena semakin menurunnya jumlah area kristalin seiring dengan semakin banyaknya area amorf

dalam granula pati (N. Singh, Chawla, dan Singh 2004; Huang *et al.* 2007; Halal *et al.* 2015). Semakin lama reaksi dapat terjadi penurunan daya kembang. Hal ini kemungkinan disebabkan karena mulai meningkatnya area kristalin, yang disebabkan akibat interaksi antara amilosa-amilosa maupun amilosa-amilopektin yang terjadi ketika rantai pati mengalami pengaturan ulang atau *rearrangement* (Kumoro *et al.* 2019; S. Senanayake *et al.* 2013).

Daya kembang sangat dipengaruhi oleh besarnya interaksi antar rantai pati dalam daerah amorf dan kristalin. Interaksi ini ditentukan oleh rasio amilosa-amilopektin dan karakteristik amilosa dan amilopektin (berat molekul, distribusi), derajat percabangan, dan konformasi (Hoover 2001).

Asetilasi dapat meningkatkan kelarutan pati dibandingkan pati alami. Pada proses asetilasi, inkorporasi gugus asetil akan mengurangi interaksi antar molekul pati dan meningkatkan kelarutan serta daya kembang granula pati. Asetilasi juga memfasilitasi masuknya air ke daerah amorf yang disebabkan disorganisasi struktur intergranula akibat efek sterik dan disrupsi ikatan hidrogen pada granula pati (Raina *et al.* 2006; Das *et al.* 2010). Keberadaan ikatan hidrogen pada pati asetilasi dibatasi karena gaya tolakan elektrostatis pada molekul pati (Lawal 2004). Pada pati asetilasi, gugus hidroksil dan glukosa anhidrat diubah menjadi gugus asetilasi (Huang *et al.* 2007). Hal tersebut yang menyebabkan peningkatan kelarutan pati asetilasi.

Lama reaksi asetilasi pada proses modifikasi berpengaruh signifikan terhadap nilai kelarutan pati. Data pada **Tabel 5.3** dan **Gambar 5.2 (d)** menunjukkan pati asetilasi memiliki kelarutan granula pati yang semakin tinggi sesuai dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan semakin lamanya reaksi asetilasi hingga mencapai titik optimal sekitar 10 g/100g selama 10 menit, kemudian kelarutan akan menurun seiring dengan bertambahnya natrium asetat anhidrat meskipun tidak signifikan. Data **Tabel 5.3** yang tertulis menunjukkan nilai kelarutan cenderung rendah ketika penambahan natrium asetat anhidrat rendah (di bawah 10 g/100g).

Peningkatan kelarutan dapat terjadi seiring dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan semakin lamanya waktu reaksi hingga titik tertentu. Hal ini kemungkinan karena semakin banyaknya gugus asetil yang tersedia sebagai gugus substitusi hidrofilik yang mampu membentuk ikatan hidrogen. Semakin banyaknya ikatan hidrogen terjadi bersamaan dengan semakin banyaknya air masuk ke dalam granula pati, daya kembang dan *leaching* amilosa juga akan

semakin meningkat (Betancur, Chel, dan Can 1997). Peningkatan kelarutan juga dapat terjadi karena semakin menurunnya jumlah area kristalin seiring dengan semakin banyaknya area amorf dalam granula pati yang terjadi secara linier dengan kenaikan daya kembang (N. Singh, Chawla, dan Singh 2004; Huang *et al.* 2007; Halal *et al.* 2015).

Semakin lama reaksi dapat terjadi penurunan kelarutan. Penurunan ini diduga karena larutan mengalami kejenuhan sehingga proses kelarutan tidak dapat berlangsung optimal. Selain itu, penurunan kelarutan juga dapat disebabkan karena mulai meningkatnya area kristalin akibat kejenuhan yang terjadi. Interaksi antara amilosa-amilosa maupun amilosa-amilopektin yang terjadi ketika rantai pati mengalami *rearrangement* (Kumoro *et al.* 2019; S. Senanayake *et al.* 2013). Terjadinya retrogradasi ini menyebabkan struktur yang kompak pada pati dan menyebabkan nilai kelarutan semakin menurun (Lawal 2004; Halal *et al.* 2015). Faktor yang mempengaruhi kelarutan adalah sumber pati, derajat ikatan antar molekul pada daerah amorf dan kristalin, daya kembang, dan keberadaan komponen non pati lainnya (Ambigaipalan *et al.* 2014; Mat *et al.* 1992).

Pada proses asetilasi, penambahan gugus asetil mengurangi resistensi ikatan antar molekul pati. Asetilasi dapat meningkatkan nilai kapasitas pengikatan air pati karena keberadaan gugus substitusi hidrofilik yang dapat mengikat air karena kemampuannya membentuk ikatan hidrogen (Betancur, Chel, dan Can 1997; Mbougueng *et al.* 2012). Pada pati asetilasi, gugus hidroksil dan glukosa anhidrat diubah menjadi gugus asetilasi (Huang *et al.* 2007). Hal tersebut yang menyebabkan peningkatan kapasitas pengikatan air pati asetilasi.

Lama reaksi asetilasi pada proses modifikasi berpengaruh signifikan terhadap nilai kapasitas pengikatan air pati. Data **Tabel 5.3** dan **Gambar 5.2 (f)** menunjukkan pati asetilasi memiliki kapasitas pengikatan air yang semakin tinggi sesuai dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan semakin lamanya reaksi asetilasi hingga mencapai titik optimal sekitar 10 g/100g selama 10 menit, kemudian kapasitas pengikatan air akan menurun seiring dengan bertambahnya natrium asetat anhidrat meskipun tidak signifikan. Data **Tabel 5.3** menunjukkan nilai kapasitas pengikatan air cenderung rendah ketika penambahan natrium asetat anhidrat rendah (di bawah 10 g/100g).

Peningkatan kapasitas pengikatan air dapat terjadi seiring dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan semakin lamanya waktu reaksi hingga titik tertentu. Hal ini kemungkinan karena semakin banyaknya gugus asetil yang

tersedia sebagai gugus substitusi hidrofilik yang mampu membentuk ikatan hidrogen (Betancur, Chel, dan Can 1997). kapasitas pengikatan air yang meningkat pada pati asetilasi kemungkinan disebabkan karena meningkatnya situs pengikatan air. Disrupsi granula yang mungkin terjadi saat perlakuan dapat melemahkan ikatan di area amorf dan meningkatkan kapasitas hidrasi pati (Wootton dan Bamunuarachchi 1978).

Setelah titik tertentu, nilai kapasitas pengikatan air menurun yang diduga disebabkan terbentuknya ikatan hidrogen dan ikatan kovalen antar rantai patipada atom C yang mengikat gugus asetil, sehingga area kristalin meningkat dan area amorf semakin sedikit. Menurunnya jumlah situs pengikatan air menyebabkan nilai kapasitas pengikatan air makin menurun (Lawal 2004). Selain itu, kejenuhan larutan juga dapat menyebabkan reaksi yang terjadi tidak dapat terjadi secara optimal. Faktor yang mempengaruhi nilai kapasitas pengikatan air adalah sumber pati, variasi struktur granula, dan interaksi antara amilosa dan amilopektin (Gujral, Sharma, dan Kaur 2011).

5.4 Penentuan Kondisi Optimum Penambahan Natrium Asetat Anhidrat dan Lama Reaksi Modifikasi Pati Ubi Jalar Asetilasi terhadap Respon

Solusi kondisi optimum didapatkan dari program Design Expert 11 dengan menetapkan beberapa kriteria yang diinginkan terhadap masing-masing respon. Kriteria yang ditetapkan disajikan pada **Tabel 5.4**.

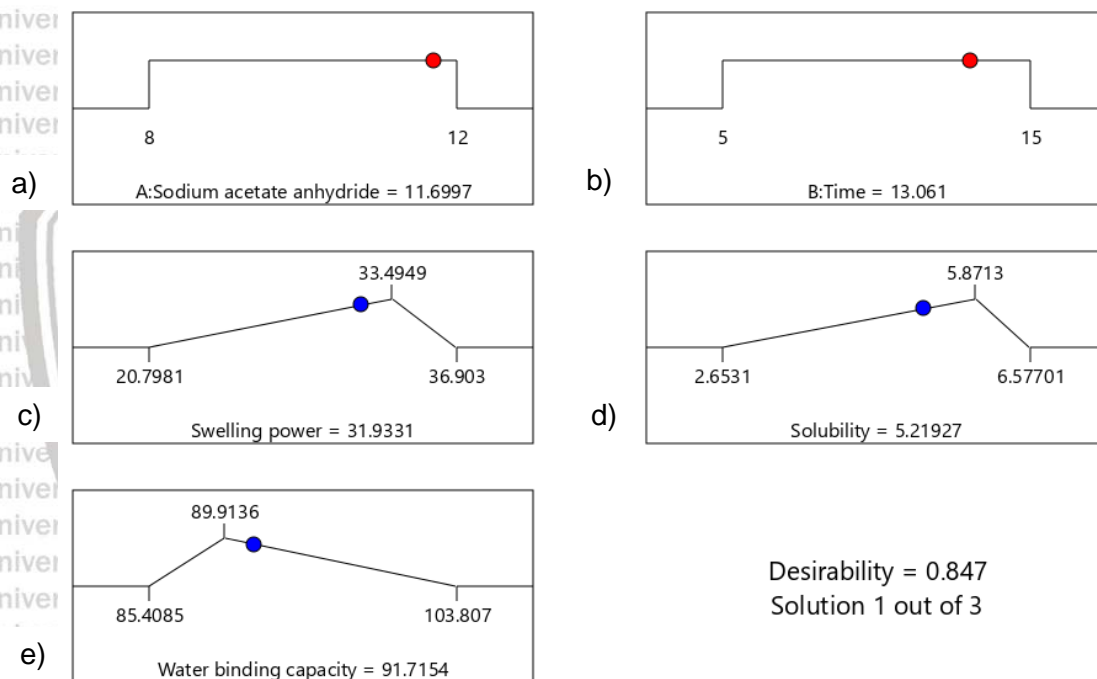
Tabel 5.4 Batasan variabel terhadap respon optimum asetilasi

Nama	Target	Batas bawah	Batas atas
Penambahan natrium asetat anhidrat	<i>Is in range</i>	8	12
Lama reaksi	<i>Is in range</i>	5	15
Daya kembang (g/g)	<i>Targeted to</i>		33,49
Kelarutan (%)	<i>Targeted to</i>		5,87
Kapasitas pengikatan air (%)	<i>Targeted to</i>		89,91

Tabel 5.4 menunjukkan variabel penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi yang diinginkan adalah pada rentang yang telah ditentukan batas minimum dan maksimumnya yaitu penambahan natrium asetat anhidrat 8-12 g/100g dan lama reaksi 5-15 menit. Pada respon daya kembang, kelarutan, dan

kapasitas pengikatan air sasaran yang diinginkan adalah *targeted to* sesuai dengan parameter daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati kentang komersial yaitu untuk daya kembang 33,49 g/g, untuk kelarutan adalah 5,87 %, dan untuk kapasitas pengikatan air adalah 89,91%.

Berdasarkan hasil penelitian dilakukan pemilihan kriteria tersebut karena dalam penelitian ingin mengetahui kondisi modifikasi asetilasi yang tepat untuk menghasilkan pati ubi jalar dengan karakteristik serupa pati kentang. Setelah ditetapkan kriteria yang diinginkan, program Design Expert 11 akan memberikan solusi kondisi optimum proses asetilasi terhadap pati ubi jalar putih seperti pada **Gambar 5.7**.



Gambar 5.3 Kondisi optimum proses asetilasi pati ubi jalar putih berdasarkan faktor a) penambahan natrium asetat anhidrat, b) lama reaksi terhadap respon c) daya kembang, d) kelarutan, e) kapasitas pengikatan air

Solusi dari **Gambar 5.3** menjelaskan hasil analisis pengolahan data menggunakan model kuadratik dengan penambahan natrium asetat anhidrat 11,69 g/100 g dan lama reaksi 13,06 menit diprediksi dapat menghasilkan respon nilai daya kembang 31,93g/g, nilai kelarutan 5,22%, dan nilai kapasitas pengikatan air 91,72%. Terdapat tiga buah *solution* pada analisis software (**Lampiran 3.5**).

Ketiga solusi tersebut digunakan untuk pengujian *paired t-test*. Formula yang

paling optimal adalah formula dengan nilai desirabilitas maksimum, dimana nilai ini merupakan nilai fungsi untuk tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir (Ramadhani *et al.* 2017). Nilai desirabilitas yang semakin mendekati 1,0 menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna (Raissi dan Farsani 2009).

5.5 Verifikasi Hasil Optimasi dengan *Paired t-test* Pati Asetilasi

Verifikasi dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan solusi titik optimum yang sudah diberikan software Design Expert 11 adalah nyata sesuai dengan penelitian sebenarnya. Validasi dilakukan dengan menerapkan hasil solusi titik optimum dari program secara aktual yaitu melakukan modifikasi pati asetilasi dengan penambahan natrium asetat anhidrat dan lama reaksi yang disarankan oleh ketiga *solution* dari *software* (**Lampiran 3.5**). Hasil yang didapat kemudian dibandingkan dengan *solution* yang diberikan software dari segi kelarutan dan daya kembang sesuai respon yang sudah diprediksi dengan nilai validasi diatas 5% dengan *software* Minitab 17. Hasil analisis verifikasi dapat dilihat pada **Tabel 5.5**.

5.5.

Tabel 5.5 Hasil verifikasi respon daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati asetilasi

Penambahan natrium asetat anhidrat (g/100g)	Lama reaksi (menit)	Respon					
		Daya kembang (g/g)		Kelarutan (%)		Kapasitas pengikatan air (%)	
		Prediksi	Validasi	Prediksi	Validasi	Prediksi	Validasi
11,69	13,06	31,93	33,58±0,93	5,22	5,56±0,19	91,72	95,54±0,54
8,00	9,47	33,49	31,77±0,07	4,70	4,56±0,01	96,94	97,59±0,60
8,00	9,34	33,30	32,69±0,01	4,67	5,18±0,15	96,80	98,12±0,04
<i>p-value (paired t-test) tidak berbeda nyata</i>		0,84 (>5%)		0,35 (>5%)		0,19 (>5%)	

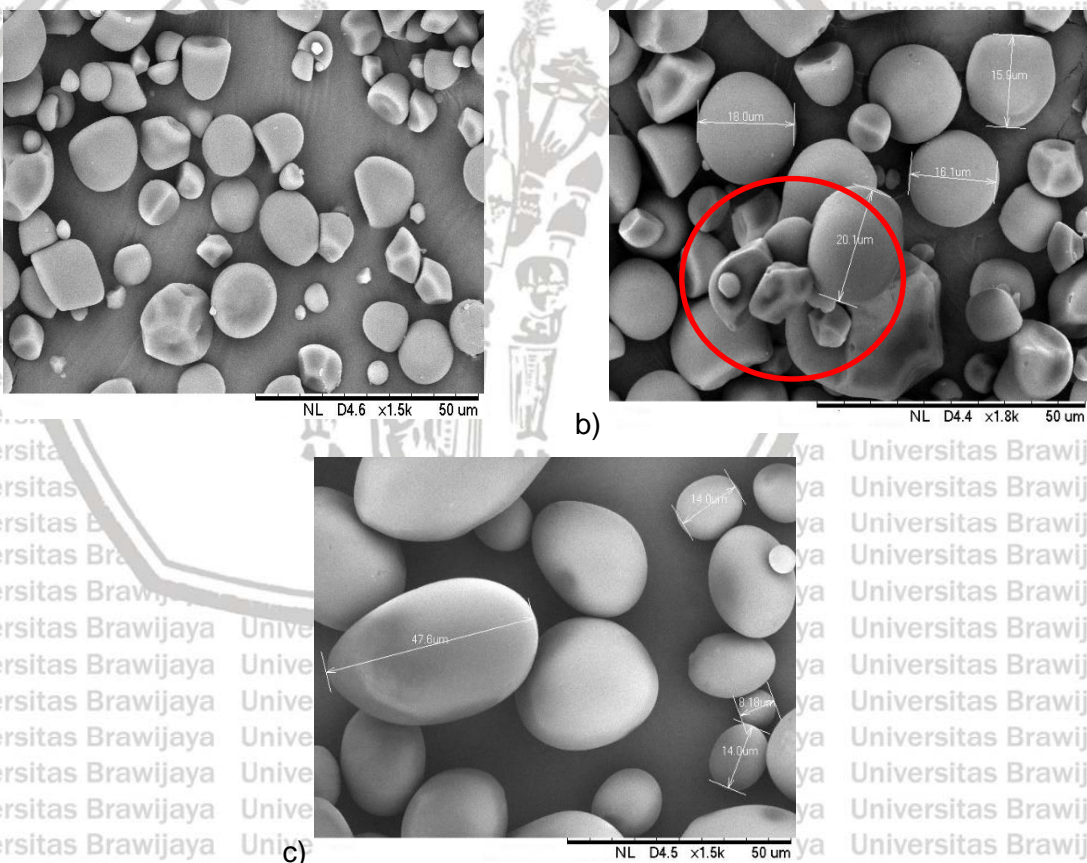
Rerata hasil analisis daya kembang (SP), kelarutan (S), dan kapasitas pengikatan air (WBC) pati hampir sama dengan titik target yang disarankan (**Tabel 5.5**). Hal ini dibuktikan dengan nilai *p* pada pengujian *paired t-test* menghasilkan hasil dari ketiga respon tidak berbeda nyata ($p > 0,05$). Pada respon daya kembang

diperoleh hasil nilai p adalah 0,84. Pada respon kelarutan diperoleh hasil nilai p adalah 0,35. Pada respon kapasitas pengikatan air diperoleh hasil nilai p adalah 0,19. Ketiga nilai tersebut lebih besar dari 0,05 ($p > 0,05$) sehingga dapat disimpulkan hasil respon yang diperoleh tidak berbeda nyata dengan prediksi.

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui respon daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pada pati ubi jalar asetilasi tidak berbeda nyata dengan pati kentang referensi.

5.6 Analisis Morfologi Pati dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisis SEM bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur (termasuk porositas dan bentuk retakan) suatu permukaan benda padat. Hasil analisis SEM pati ubi jalar alami, pati kentang, dan pati asetilasi dapat dilihat pada **Gambar 5.8**.



Gambar 5.4 Hasil analisis SEM pati a) Ubi jalar alami (1500x); b) Asetilasi (1800x); c) Kentang alami (1500x). Pengklusteran yang terjadi pada pati asetilasi ditunjukkan oleh lingkaran merah.

Gambar 5.4 (a) menunjukkan diameter pati ubi jalar alami bervariasi dari 4-27 μm . Pati kentang memiliki diameter bervariasi dari 8-47 μm . Sedangkan pati asetilasi (**Gambar 5.4 (b)**) memiliki diameter bervariasi dari 4-24 μm . Pada pati ubi jalar diketahui terlihat cekungan, lekukan, dan retakan yang disebabkan oleh proses ekstraksi pati yang dilakukan di industri kecil. Pada industri kecil proses ekstraksi pati juga dilakukan dengan pengendapan yang lama dan hal ini memungkinkan terbentuknya asam-asam organik yang dapat mendegradasi granula pati.

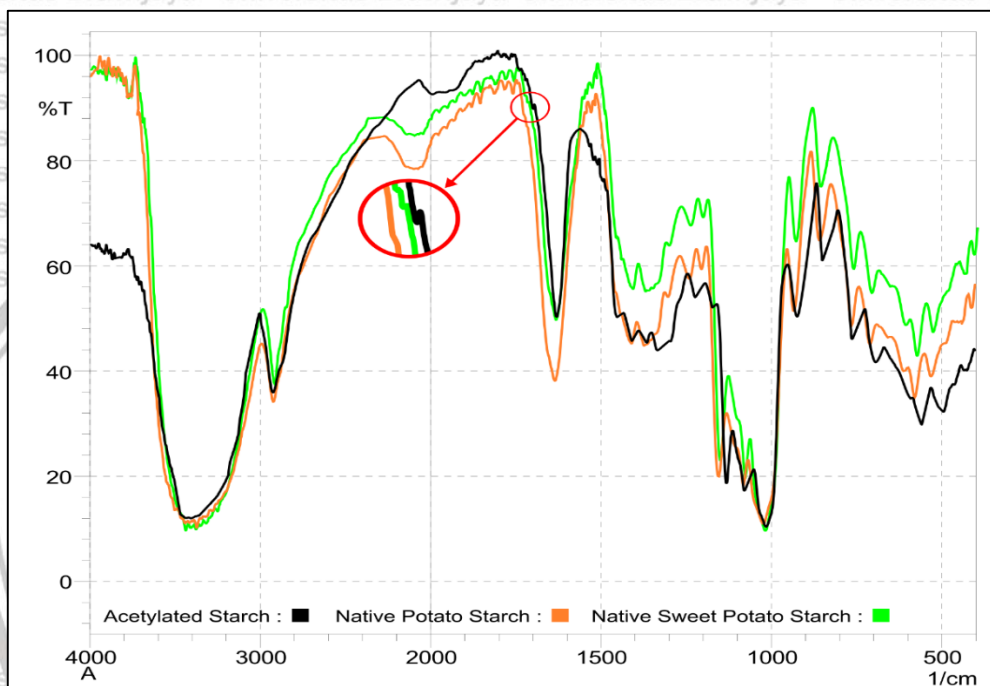
Pati kentang (**Gambar 5.4 (c)**) diketahui memiliki bentuk granula dan permukaan pati yang lebih halus daripada pati ubi jalar yang disebabkan bahan baku pati kentang diperoleh secara komersial dan diproduksi oleh industri besar. Berdasarkan hasil SEM, diketahui tidak ada perbedaan signifikan antara morfologi eksternal pati ubi jalar alami dan modifikasi asetilasi. Hasil ini juga sesuai dengan literatur yang menyatakan hal serupa (Li dan Yeh 2001; Sodhi dan Singh 2005; Gonzalez dan Perez 2002).

Pati asetilasi memperlihatkan sedikit pengklusteran granula pati (**Gambar 5.4 (b)**). Pengklusteran ini juga ditemukan pada literatur (Das *et al.* 2010; Sodhi dan Singh 2005; N. Singh, Chawla, dan Singh 2004). Pati ubi jalar memiliki granula dengan diameter bervariasi dari 6-22 μm dan terdiri dari campuran bentuk granula pati yang terdiri dari granula besar, sedang, dan kecil dengan beragam bentuk seperti oval, pentagonal, heksagonal dan permukaan yang halus. Asetilasi diketahui menyebabkan sedikit agregasi atau pengklusteran granula (Das *et al.* 2010).

Pati kentang memiliki ukuran granula bervariasi mulai dari 0,36-76,32 μm dan bentuk memanjang atau bola tidak beraturan. Asetilasi juga dapat mengakibatkan sedikit fusi granula pati akibat gugus hidrofilik dalam molekul pati yang meningkatkan terbentuknya ikatan hidrogen (Mbougoung *et al.* 2012; N. Singh, Chawla, dan Singh 2004). Pada granula pati asetilasi juga terlihat sedikit fragmentasi, lekukan, dan lubang yang dalam di area inti dengan fusi granula yang lebih tampak di granula berukuran kecil (Das *et al.* 2010; H. Singh, Sodhi, dan Singh 2012).

5.7 Analisis Ikatan Antar Atom dengan FTIR

Spektra IR menunjukkan pita (*band*) yang menggambarkan pergerakan ritmik amilosa dan amilopektin (A. R. Yadav *et al.* 2007). O-H *stretch* (3000-3600 cm^{-1}), C-H *stretch* (2800-3000 cm^{-1}), dan vibrasi ikatan glikosidik (900-950 cm^{-1}) dapat dilihat dengan jelas pada pati ubi jalar alami, pati kentang, maupun pati asetilasi. Variasi intensitas pita IR dan rasionya dapat dilihat pada **Gambar 5.5** yang menguatkan terjadinya modifikasi.



Gambar 5.5 Absorbansi spektra IR pati ubi jalar alami, kentang, asetilasi

Pati alami menunjukkan absorpsi yang kuat pada 3000-3600 cm^{-1} dan 2950 cm^{-1} sebagai tanda keberadaan OH dan CH *stretching*. Peak pada 1650 cm^{-1} dan 1420 cm^{-1} menunjukkan keberadaan OH dan CH *bending* (Halal *et al.* 2015). Sampel pati menunjukkan pita pada 1600 cm^{-1} yang intensitasnya meningkat pada sampel pati asetilasi, hal ini menunjukkan perubahan kristalinitas pati (A. R. Yadav *et al.* 2007).

Pita pada 1600 cm^{-1} juga menunjukkan penyerapan air pada area amorf granula pati. Pita tajam pada 2900 cm^{-1} menunjukkan C-H *stretch* yang berasosiasi dengan atom hidrogen (A. R. Yadav *et al.* 2007). Perubahan intensitas C-H *stretch* kemungkinan berhubungan dengan variasi antara amilosa dan amilopektin yang

terdapat pada pati (D. K. Yadav dan Patki 2014). Keberadaan ester gugus karbonil (C=O) *stretch* pada 1700 cm^{-1} merupakan bukti terjadinya proses asetilasi. Hal ini juga dikemukakan oleh literatur (J. Singh, Kaur, dan Singh 2004; Bello-pérez *et al.* 2010; A. R. Yadav *et al.* 2007).

Perubahan absorbansi pada 1020 cm^{-1} (C-O-H *bending* dan deformasi) dan 1640 cm^{-1} (O-H terkait vibrasi) mengindikasikan terjadinya kerusakan ikatan hidrogen inter dan intra granula serta formasi ikatan hidrogen intermolekuler antara pati dan air yang terjadi saat fase transisi pada sampel yang dimodifikasi (A. R. Yadav *et al.* 2007).

Absorbansi pada 1150 , 1080 , dan 1020 cm^{-1} lebih sensitif terhadap perubahan konformasional selama proses modifikasi, mengindikasikan perubahan urutan dan heliks ketika orientasi molekuler dan kristalinitas menurun. Pita yang melebar dengan besar karena ikatan hidrogen dan gugus hidroksil (O-H) tampak pada 3400 cm^{-1} yang menunjukkan terjadinya *stretch* kompleks vibrasional yang berasosiasi dengan molekul bebas, intermolekul, dan intramolekul yang mengikat gugus hidroksil sehingga membentuk struktur pati. Pita yang tajam pada 2900 cm^{-1} menunjukkan karakteristik C-H *stretch* yang berasosiasi dengan cincin atom hidrogen. Perubahan intensitas pada C-H *stretch* dapat menunjukkan variasi pada jumlah amilosa dan amilopektin dalam pati (A. R. Yadav *et al.* 2007).

Data spektra IR yang membuktikan terjadinya asetilasi ada pada munculnya ester gugus karbonil (C=O) *stretch* pada 1700 cm^{-1} . Pita tajam pada 3400 cm^{-1} mengalami penurunan setelah asetilasi seiring dengan menurunnya jumlah gugus hidroksil. Deteksi perubahan struktur ini biasa ditemukan pada pati modifikasi kimiawi dan penting diketahui untuk menentukan kualitas pati modifikasi (A. R. Yadav *et al.* 2007; Whistler dan Daniel 1984).

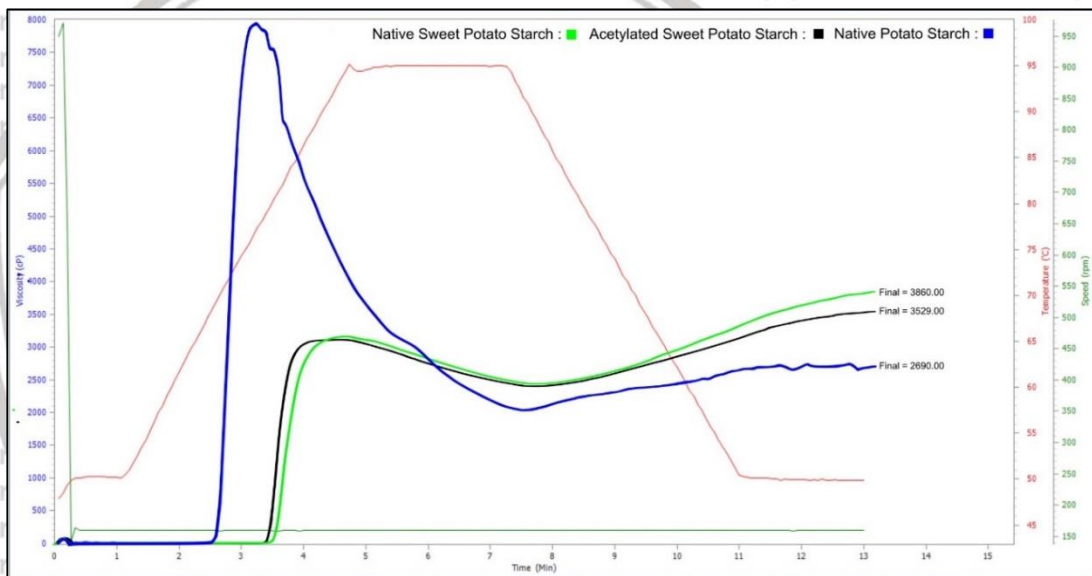
Pati asetilasi memiliki pita absorpsi yang kuat pada $1735\text{-}1740\text{ cm}^{-1}$ (C=O *stretching* dari gugus asetil), 1368 cm^{-1} (C-H pada gugus asetil), dan 1234 cm^{-1} (C-O *stretching* pada gugus asetil) sebagai bukti terjadinya asetilasi. Intensitas yang menurun pada peak $3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus hidroksil pada pati telah diubah menjadi gugus asetil (Halal *et al.* 2015).

5.8 Analisis Sifat Pasting Pati dengan *Rapid Visco Analyzer* (RVA)

Profil viskositas pati merupakan salah satu atribut yang menentukan nilai ekonomis pati. Sifat reologi dan pasta pati diukur dengan menggunakan *Rapid*

Visco Analyzer (RVA) untuk mengetahui profil gelatinisasi pati. Ketika pati dipanaskan dengan keberadaan air akan mengalami perubahan fase transisi disebut gelatinisasi dengan suhu tertentu yang berbeda-beda tergantung sumber patinya. Suhu pemastaaan pati yang berbeda merupakan indikator penting untuk mengetahui suhu minimal untuk memasak sampel (D. K. Yadav dan Patki 2014).

Peak dapat menggambarkan kemampuan mengikat air dan pengembangan sampel. Trough dan Breakdown (BD) dapat menggambarkan stabilitas dan ketahanan shear sampel pati. Sementara itu, Final viscosity dan Setback (SB) dapat menggambarkan sifat retrograsi dan kemampuan pati untuk meningkatkan konsistensi di sistem pangan (Deng *et al.* 2013). Hasil analisis RVA pati dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik RVA pati ubi jalar (hijau), pati asetilasi (hitam), dan pati kentang (biru)

Terjadi penurunan pada parameter sifat pasting pati asetilasi apabila dibandingkan dengan pati ubi jalar alami. Diketahui peak pati asetilasi lebih rendah dibandingkan pati alami yang menunjukkan kemampuan pengikatan air dan pengembangan yang lebih baik pada pati asetilasi. Nilai peak yang rendah juga berasosiasi dengan nilai amilosa yang lebih tinggi pada pati asetilasi dibanding pati alami. Nilai BD yang lebih rendah pada pati asetilasi menunjukkan pati memiliki kestabilan pasta yang lebih baik dibanding pati alami. Nilai SB yang rendah pada pati asetilasi bila dibandingkan pati alami menunjukkan pati memiliki

kecenderungan retrogradasi dan sineresis yang lebih rendah dibanding pati alami. Pati asetilasi memiliki nilai viskositas akhir yang lebih rendah dibandingkan pati alami. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan hal serupa (D. K. Yadav dan Patki 2014; Sodhi dan Singh 2005; Bolade dan Oni 2015).

Setelah asetilasi, akan terjadi penurunan sifat pasting dan waktu pasting pati (D. K. Yadav dan Patki 2014; Mirmoghtadaie, Kadivar, dan Shahedi 2009). Fase transisi berasosiasi dengan difusi air ke dalam granula, dan masuknya air ke area amorf, hidrasi, pengembangan granula pati, kehilangan birefringence, panas, kehilangan kristalinitas, membukanya struktur (*uncoiling*) dan disosiasi struktur *double helix*, dan *leaching* amilosa (D. K. Yadav dan Patki 2014).

Sifat pasting pati asetilasi diketahui menggambarkan profil viskositas setelah modifikasi mengalami peningkatan dengan menurunnya nilai *Peak Viscosity* (PV) dan *Breakdown*. Hal ini terjadi seiring dengan terjadinya fragmentasi granula karena proses pengadukan selama reaksi. Beberapa faktor diketahui mempengaruhi nilai PV seperti sumber botani dan jenis reagen yang digunakan pada proses asetilasi (Wilkins *et al.* 2003).

Perbedaan nilai PV akan mempengaruhi kapasitas pengikatan air dan laju pengembangan pati selama pemanasan (Bolade dan Oni 2015; Ragaei dan Abdel-Aal 2006). Nilai BD yang lebih rendah pada pati asetilasi juga mengindikasikan kestabilan pasta yang lebih baik (Bolade dan Oni 2015). Nilai *peak* pati alami lebih tinggi dibandingkan pati asetilasi yang diketahui berasosiasi juga dengan jumlah amilosa pati. Kadar amilosa yang rendah berasosiasi dengan nilai PV yang tinggi dan suhu *pasting* yang lebih rendah (Zaidul *et al.* 2007).

Terjadi penurunan *Final Viscosity* (FV), *trough* dan viskositas *setback* (SB) dari pati asetilasi dibandingkan pati alami yang mengindikasikan terjadinya pelemahan formasi gel pada siklus pendinginan dalam RVA (Yoo dan Lee 2011). Penurunan nilai SB juga menunjukkan resistivitas pati terhadap laju retrogradasi (Bolade dan Oni 2015; D. K. Yadav dan Patki 2014).

Nilai SB merupakan indikator untuk mengukur laju retrogradasi atau proses *re-alignment* molekul pati utamanya ketika proses pendinginan. Oleh karena itu, sampel pati dengan nilai SB tinggi menunjukkan kecenderungan retrogradasi yang lebih tinggi, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan kecenderungan retrogradasi yang lebih lama (Bolade dan Oni 2015). Nilai SB yang lebih rendah juga menunjukkan asetilasi dapat menurunkan nilai sineresis yang kemungkinan disebabkan oleh inkorporasi gugus asetil yang menghasilkan peningkatan

penahanan air dalam granula pati. Penurunan sineresis juga diinginkan dan menguntungkan untuk meningkatkan tekstur dan kualitas pangan beku (D. K. Yadav dan Patki 2014).

5.9 Karakteristik Fisik dan Kimia Pati Hasil Optimasi Asetilasi

Hasil verifikasi pada *software* Design Expert 11 diperoleh *solution* perlakuan dengan penambahan natrium asetat anhidrat 11,69 g/100 g dan lama reaksi 13,06 menit. *Solution* tersebut merupakan kondisi optimal untuk menghasilkan daya kembang (SP), kelarutan (S), dan kapasitas pengikatan air (WBC) *targeted* to dengan pati kentang komersil. Kondisi tersebut dinyatakan sebagai perlakuan terbaik yang kemudian dilakukan uji karakterisasi kimia dan fisik pati asetilasi. Karakteristik pati ubi jalar putih modifikasi asetilasi yang dianalisis meliputi kadar air, kadar abu, kadar amilosa, kadar amilopektin, kadar pati, derajat kecerahan, pH, kemampuan mengikat air, daya kembang, dan kelarutan.

Tabel 5.6 Hasil karakterisasi fisik dan kimia pati asetilasi

Parameter	Pati alami	Pati asetilasi	Pati kentang	Literatur	p-value pati alami vs pati asetilasi	p-value pati asetilasi vs pati kentang
Kadar air (%)	9,41±0,10	10,22±0,40	15,72±0,04	8,7-11,9 ^a	0,038	0,002
Kadar abu (%)	0,58±0,02	0,50±0,02	0,26±0,01	0,40-0,77 ^a	0,011	0,004
Kadar amilosa (%)	41,40±1,62	41,48±0,80	50,20±0,12	20,30-26,68 ^a	0,553	0,002
Kadar amilopektin (%)	51,29±1,73	53,53±1,29	40,49±0,40	73,32-79,7 ^a	0,172	0,002
Kadar pati (%)	93,92±1,60	95,01±0,49	90,68±0,53	87,23-87,90 ^a	0,608	0,014
Derajat kecerahan	85,79±0,03	87,31±0,01	92,66±0,35	93,41-95,45 ^a ; 85,36 ^b	0,000	0,000
pH	5,9±0,00	5,2±0,00	6,2±0,00	7,05±0,13 ^c	*	*
Kapasitas pengikatan air (%)	76,07±0,66	90,10±0,44	89,91±0,43	77,00-90,30 ^a	0,001	0,569
Daya kembang (g/g)	16,26±0,52	32,29±1,69	33,49±1,23	30,20 ^d	0,001	0,128
Kelarutan (%)	1,54±0,01	5,06±0,16	5,87±0,14	4,86-7,50 ^a	0,000	0,064

Keterangan: (n=3), , angka setelah ± adalah standar error, ^aDas *et al.* 2010, ^bBolade & Oni 2015, ^cChibuzo 2012, ^dChen 2003

Hasil perbandingan analisis pengujian pati alami, pati asetilasi dan pati kentang dapat dilihat pada **Tabel 5.7**. Nilai *p* hasil uji *t* pada pati alami dan pati asetilasi menunjukkan bahwa hampir semua parameter yang diujikan memberikan nilai berbeda nyata ($\alpha=0,05$) dengan pati kentang komersial, kecuali pada parameter kadar amilosa, kadar amilopektin, dan kadar pati. Sedangkan hasil

pengujian *t-test* pada pati asetilasi dan pati kentang menunjukkan hampir semua parameter yang diujikan memberikan nilai berbeda nyata ($\alpha=0.05$), kecuali pada parameter yang dioptimasi yaitu kapasitas pengikatan air, daya kembang, dan kelarutan. Hal ini disebabkan ketiga parameter tersebut pada pati asetilasi telah didesain mengikuti target nilai kapasitas pengikatan air, daya kembang, dan kelarutan.

Parameter pertama adalah kadar air. Kadar air merupakan komponen penting dalam menentukan kualitas dan daya simpan dari pangan terutama pada produk tepung dan pati. **Tabel 5.7** menunjukkan analisis kadar air pati asetilasi sebesar $10,22\pm 0,4\%$, meningkat dari pati alami sebesar $9,41\pm 0,1\%$, dan berbeda nyata dengan pati kentang sebesar $15,72\pm 0,04\%$. Peneliti lain menyatakan kadar air pati asetilasi berkisar antara 8,7-11,9% (Das *et al.* 2010). Pati asetilasi juga diketahui menahan kadar air lebih tinggi dibandingkan pati alami, hal ini kemungkinan disebabkan gugus hidrofilik yang berinkorporasi ke dalam pati (Mbougoung *et al.* 2012; Adebowale *et al.* 2009).

Perbedaan kadar air pada bahan pangan dapat disebabkan oleh proses pengeringan yang berbeda. Pengeringan bertujuan mengurangi kadar air hingga batas tertentu untuk memperpanjang umur simpan dengan membatasi pertumbuhan mikroba, aktivitas enzim, dan degradasi oksidatif bahan pangan (Ertekin dan Firat 2017). Berdasarkan SNI Pati Sagu juga diketahui kadar air pati yang baik untuk pangan adalah maksimal 13% (Widaningrum, Yuli, dan Munarso 2003), sehingga kadar air pati alami maupun pati asetilasi hasil penelitian telah memenuhi standar kadar air produk pati yang baik.

Analisis kadar abu bertujuan untuk mengetahui besarnya kandungan mineral yang terdapat dalam bahan pangan. Rendahnya kadar abu menunjukkan rendahnya jumlah mineral yang dikandung ubi (Lintang, Layuk, dan Joseph 2017). **Tabel 5.6** menunjukan kadar abu pati ubi jalar putih asetilasi hasil analisis sebesar $0,50\pm 0,02\%$, lebih rendah dibandingkan pati alami yaitu sebesar $0,58\pm 0,02\%$, serta lebih tinggi dari pati kentang sebesar $0,26\pm 0,01\%$. Kadar abu pati asetilasi tersebut berada pada nilai kadar abu kisaran literatur yaitu sebesar 0,40-0,77% (Das *et al.* 2010).

Perubahan kadar abu pati asetilasi diduga karena perlakuan modifikasi dapat menyebabkan disintegrasi struktur pati dan memperlemah ikatan dalam granula pati sehingga kemungkinan dapat menyebabkan *leaching* pada komponen-komponen di dalam pati (Lawal 2004; Das *et al.* 2010). Selain itu,

proses pencucian pati setelah asetilasi juga dapat menghilangkan mineral yang dapat mempengaruhi nilai kadar abu (Gonzalez dan Perez 2002). Adanya senyawa kimia yang digunakan dalam asetilasi dapat melarutkan mineral selama reaksi juga kemungkinan dapat menurunkan kadar abu pati (Betancur, Chel, dan Can 1997). Kadar abu pati asetilasi hasil penelitian telah memenuhi standar mutu untuk batas kadar abu adalah <1% (Widaningrum, Yuli, dan Munarso 2003). Sehingga dapat diketahui kandungan mineral dalam pati asetilasi juga telah memenuhi standar.

Pati terdiri dari amilosa dan amilopektin sebagai komponen utama yang menyusun granula pati. Berdasarkan **Tabel 5.6** menunjukkan kadar amilosa pati asetilasi hasil penelitian sebesar $41,48 \pm 0,80\%$ sedikit meningkat dari kadar amilosa pati alami yaitu $41,40 \pm 1,62\%$, dan berbeda nyata dengan kadar amilosa pati kentang yaitu $50,20 \pm 0,12\%$. Menurut Das *et al.* (2010) kandungan amilosa pati asetilasi adalah sebesar 20,30-26,68. Sedangkan kadar amilopektin pati asetilasi hasil penelitian sebesar $53,53 \pm 1,29\%$ meningkat dari kadar amilopektin alami yaitu sebesar $51,29 \pm 1,73\%$, dan berbeda nyata dengan kadar amilopektin pati kentang yaitu $40,49 \pm 0,40\%$. Kandungan amilopektin pati asetilasi pada ubi jalar sebesar 73,32-79,7% (Das *et al.* 2010). Kadar pati asetilasi hasil penelitian adalah $95,01 \pm 0,49$ meningkat dari kadar pati alami yaitu $93,92 \pm 1,60\%$, serta lebih tinggi dari kadar pati pada pati kentang yaitu $90,68 \pm 0,53\%$. Kadar pati ini lebih tinggi dari peneliti lain yaitu 87,23-87,90% (Das *et al.* 2010). Peningkatan kadar ini juga dilaporkan peneliti lain pada pati ubi jalar (Das *et al.* 2010), kentang, dan cassava (Mbougoung *et al.* 2012) serta beras (Sodhi dan Singh 2005).

Terdapat perubahan kadar amilosa, kadar amilopektin, dan kadar pati dari pati asetilasi dibandingkan pati alami. Perubahan amilopektin tersebut diduga disebabkan oleh keberadaan gugus asetil yang dapat mengintervensi dalam fraksi amilosa-amilopektin dan mempengaruhi absorpsi iodine selama uji amilosa (Whistler dan Daniel 1984; Betancur, Chel, dan Can 1997; Mbougoung *et al.* 2012). Gugus asetil yang masuk dalam rantai pati merintangai formasi struktur heliks amilosa di beberapa area dengan rintangan sterikal yang dapat mengganggu hasil pembacaan uji amilosa (Mbougoung *et al.* 2012; Gonzalez dan Perez 2002).

Kadar pati asetilasi juga meningkat dibandingkan pati ubi jalar alami dan pati kentang, hal ini kemungkinan disebabkan proses pencucian yang dapat menghilangkan komponen non pati sehingga kemurnian pati meningkat. Dalam pati juga mungkin terdapat komponen non pati seperti komponen serat kasar yang

meliputi selulosa, hemiselulosa dan lignin yang dapat mempengaruhi kemurnian pati (Nurdjanah *et al.* 2019).

Amilosa maupun amilopektin pada pati akan mempengaruhi proses retrogradasi. Retrogradasi pada amilosa akan berlangsung cepat karena strukturnya yang linier sehingga mampu menyebabkan proses reasosiasi yang lebih cepat. Retrogradasi pada amilopektin dapat terjadi lebih lama dibandingkan amilosa (Lawal 2004).

Fraksi amilosa-amilopektin juga sangat berpengaruh pada profil gelatinisasi pati. Amilosa memiliki ukuran yang lebih kecil dengan struktur tidak bercabang. Amilosa mempengaruhi sifat pembentukan gel. Pati dengan kadar amilosa rendah jika dibuat pasta akan bersifat lunak dan relatif tidak membentuk gel yang kokoh (Ginting *et al.* 2005). Sementara amilopektin merupakan molekul berukuran besar dengan struktur bercabang banyak dan membentuk *double helix*. Amilopektin bersifat merangsang terjadinya proses mekar (*puffing*) (Nurdjanah *et al.* 2019).

Kecerahan warna merupakan salah satu faktor daya tarik konsumen dalam mengonsumsi suatu produk yang dihasilkan terutama produk jenis tepung pati. Hasil analisis derajat kecerahan rata-rata yang dimiliki pati asetilasi dalam penelitian ini adalah $87,31 \pm 0,01$ (**Tabel 5.6**), lebih tinggi dari pati alami yaitu $85,79 \pm 0,03$, dan lebih rendah dari pati kentang yaitu $92,66 \pm 0,35$. Sedangkan peneliti lain menyatakan derajat kecerahan pati asetilasi ubi jalar adalah 93,41-95,45 (Das *et al.* 2010) dan 85,36 (Bolade dan Oni 2015).

Nilai derajat kecerahan pati asetilasi diketahui meningkat dibandingkan pati alami. Asetilasi diketahui memiliki efek mencerahkan pada pati (Das *et al.* 2010; Bolade dan Oni 2015). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh kemampuan untuk mencegah diskolorisasi saat reaksi (Bolade and Oni 2015; Gonzalez and Perez 2002). Nilai derajat kecerahan, L^* , dan chroma yang tinggi diinginkan dalam pati (Raina *et al.* 2005). Meskipun lebih cerah dibandingkan pati alami, pati asetilasi memiliki kecerahan yang lebih rendah dari pati kentang. Hal ini disebabkan pati kentang memiliki genetik yang berbeda dibandingkan pati ubi jalar. Pati kentang memiliki kandungan fosfor lebih tinggi yang mempengaruhi kecerahan pati. Faktor genetik juga dapat mempengaruhi pati dalam dua hal, yaitu secara tidak langsung dan secara langsung. Secara tidak langsung mempengaruhi melalui kandungan berbagai komponen lain yang terdapat pada bahan yang mengandung pati dan secara langsung mempengaruhi melalui tingkat keputihan

pati. Bahan hasil pertanian yang mengandung pati biasanya juga mengandung komponen lain seperti pigmen, polifenol oksidase, dan senyawa fenolik yang dapat dengan mudah mengalami proses denaturalisasi dan browning selama proses ekstraksi pati dan pengeringan (Thao dan Noomhorm 2011). Selain itu kadar mineral bahan juga dapat mempengaruhi warna pati.

Nilai pH merupakan salah satu indikator penerimaan terhadap produk pati dan dapat mempengaruhi sifat fungsional pati diantaranya sifat gelatinisasi pati.

Tabel 5.6 menunjukkan pH pati asetilasi sebesar $5,2\pm 0,00$, lebih rendah dari pati alami yaitu sebesar $5,9\pm 0,00$, dan berbeda nyata dengan pati kentang sebesar $6,2\pm 0,00$. Peneliti lain menyatakan pH pati asetilasi adalah $7,05\pm 0,13$ (Chibuzo 2012). Pati hasil penelitian memiliki nilai pH yang rendah, kendati demikian masih berada pada kisaran pH yang diizinkan pada produk pangan. Nilai pH untuk produk tepung atau pati yang diperbolehkan pada bahan pangan dan pakan adalah berkisar antara 5-7 menurut SNI 2009 (Widaningrum, Yuli, dan Munarso 2003).

Pati asetilasi memiliki nilai pH yang lebih rendah daripada pati alami maupun pati kentang. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh penggunaan asam organik dalam proses asetilasi. Pati asetilasi hasil penelitian memiliki pH yang lebih rendah dibandingkan pati alami. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh eterifikasi pati yang dapat menyebabkan pati bersifat lebih asam (Mbougoung *et al.* 2012). Selain itu, nilai pH pati asetilasi juga lebih rendah kemungkinan disebabkan proses penurunan pH menjadi 4,5 setelah asetilasi dan proses pencucian (Gonzalez dan Perez 2002).

Kapasitas pengikatan air menunjukkan kemampuan suatu komponen untuk berikatan dengan air dalam kondisi jumlah air yang terbatas (Rauf dan Sarbini 2015). Jika air yang terserap kurang maka akan mempengaruhi proses pembentukan gel yang tidak dapat mencapai titik optimum. Jumlah air yang terserap mempengaruhi proses penghomogenan dalam pembentukan adonan. Jika memiliki daya serap air yang tinggi maka akan cenderung lebih cepat dihomogenkan (Wootton dan Bamunuarachchi 1978). Nilai kapasitas pengikatan air pati asetilasi adalah $90,10\pm 0,44\%$ (**Tabel 5.6**), lebih tinggi dibandingkan pati alami sebesar $76,07\pm 0,66\%$, dan tidak berbeda nyata dengan pati kentang sebesar $89,91\pm 0,43\%$. Pada pati kentang, bentuk granula yang besar dan kandungan fosfor pada pati kentang mempengaruhi nilai kapasitas pengikatan air. Kendati demikian pada penelitian ini kapasitas pengikatan air pati asetilasi telah

didesain mengikuti target pada pati kentang sehingga diperoleh nilai kapasitas pengikatan air yang tidak berbeda nyata dengan pati kentang.

Pati asetilasi memiliki kapasitas pengikatan air lebih besar dibandingkan pati alami (Das *et al.* 2010; Mbougueng *et al.* 2012; D. K. Yadav dan Patki 2014).

Das *et al.* (2010) menyatakan pati asetilasi memiliki WBC dengan kisaran 77,00-90,30%. Pati asetilasi memiliki kapasitas pengikatan air lebih besar dibandingkan pati alami. Hal ini disebabkan keberadaan gugus hidrofilik (Betancur, Chel, dan Can 1997; Mbougueng *et al.* 2012). Selain itu, proses asetilasi juga dapat memperbanyak jumlah area pengikatan air di dalam granula. Pati dengan ikatan amilosa dan amilopektin yang lebih longgar memiliki nilai kapasitas pengikatan air yang lebih tinggi (Wootton dan Bamunuarachchi 1978).

Hasil analisis daya kembang (**Tabel 5.6**) adalah sebesar $32,29 \pm 1,69$ g/g, lebih besar dibandingkan pati alami yaitu sebesar $16,26 \pm 0,52$ g/g, serta tidak berbeda nyata dengan pati kentang sebesar $33,49 \pm 1,23$ g/g. Pati asetat memiliki SP lebih besar dibandingkan pati alami (N. Singh, Chawla, dan Singh 2004; Chi *et al.* 2008; Zhenghong Chen, Schols, dan Voragen 2004; Mbougueng *et al.* 2012; Colussi *et al.* 2015; Raina *et al.* 2006). Chen (2003) menyatakan pati asetilasi memiliki daya kembang $30,20$ g/g.

Asetilasi dapat meningkatkan daya kembang dibandingkan pati alami karena mengurangi interaksi antar molekul pati karena meningkatnya hidrofilisitas pati akibat gugus asetil (Raina *et al.* 2006; H. Lee dan Yoo 2009). Perbedaan kapasitas pengembangan granula pada pati dipengaruhi oleh kekuatan ikatan di dalam granula pati (Huber dan Bemiller 2001). Pati asetat yang dihasilkan memiliki daya kembang tidak berbeda jauh dari peneliti lain. Pada penelitian ini daya kembang pati asetilasi telah didesain mengikuti target pada pati kentang sehingga diperoleh nilai daya kembang yang diperoleh tidak berbeda nyata dengan pati kentang komersial.

Pati asetat juga memiliki daya kembang lebih besar dibandingkan pati alami. Peningkatan nilai daya kembang tersebut kemungkinan disebabkan oleh keberadaan gugus substitusi hidrofilik yang menahan molekul air dan membentuk ikatan hidrogen (N. Singh, Chawla, dan Singh 2004; Betancur, Chel, dan Can 1997). Keberadaan gugus ini akan memfasilitasi masuknya air ke area amorf karena terjadinya disorganisasi struktur intragranula akibat efek sterik dan disrupsi ikatan hidrogen pada granula pati (Gonzalez dan Perez 2002). Air akan ditahan

ketika memasuki granula, sehingga granula pati akan mengembang dan meningkatkan kejernihan pasta (Betancur, Chel, dan Can 1997).

Daya kembang dapat mengukur ketahanan ikatan antar granula pati. Granula dengan lebih banyak area kristalin dan dengan ikatan yang kuat di area kristalin akan lebih susah mengalami pengembangan di air dingin atau ketika dipanaskan dalam bentuk pasta, membentuk viskositas yang rendah dengan kecenderungan retrogradasi yang tinggi (Aina *et al.* 2012). Pengembangan merupakan sifat yang ditunjukkan oleh amilopektin. Proporsi yang tinggi pada rantai cabang amilopektin berkontribusi dalam peningkatan nilai pengembangan. SP berkorelasi negatif dengan kadar amilosa dan berkorelasi positif dengan suhu gelatinisasi (Li dan Yeh 2001).

Amilosa juga dapat membentuk kompleks dengan lipida dalam pati, sehingga dapat menghambat pengembangan granula (Richard F. Tester dan Karkalas 1996). Faktor yang mempengaruhi daya kembang adalah intensitas jaringan tiga dimensi pada granula pati, derajat ikatan pada molekul, cabang molekul amilopektin, serta komponen non pati lainnya seperti lipida (Aina *et al.* 2012).

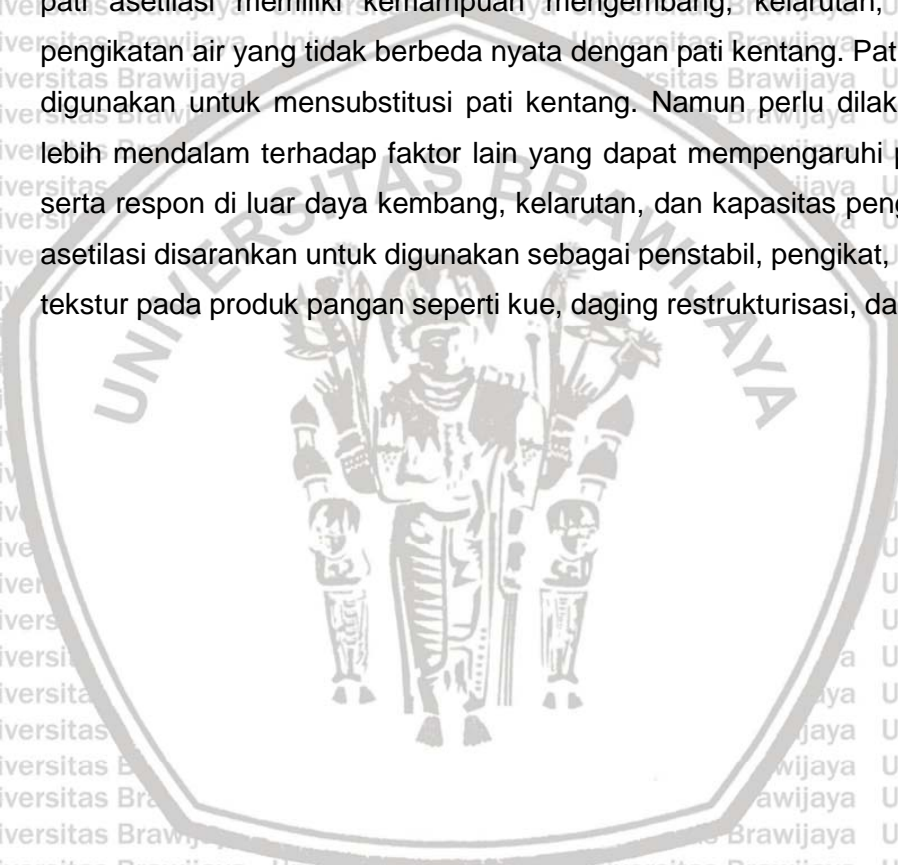
Pati asetilasi hasil penelitian memiliki kelarutan sebesar $5,06 \pm 0,16\%$, lebih tinggi daripada pati alami sebesar $1,54 \pm 0,01\%$, dan tidak berbeda nyata dengan pati kentang $5,87 \pm 0,14\%$ (**Tabel 5.6**). Pada penelitian ini, kelarutan pati asetilasi telah didesain mengikuti target pada pati kentang sehingga diperoleh nilai kelarutan yang diperoleh tidak berbeda nyata dengan pati kentang komersial. Das *et al.* (2010) menyatakan pati asetilasi memiliki kelarutan sebesar 4,86-7,50%. Masuknya gugus asetil akan mengurangi interaksi antara molekul pati sehingga meningkatkan kelarutan dan daya kembang pati. Asetilasi juga memfasilitasi masuknya air ke are amorf, karena disorganisasi struktur intragranula yang disebabkan efek sterik dan disrupsi ikatan hidrogen di granula pati (Raina *et al.* 2006).

Pati asetilasi yang memiliki lebih banyak gugus asetil menunjukkan kelarutan yang lebih besar (Sodhi dan Singh 2005). Peningkatan daya kembang dan kelarutan pati asetilasi disebabkan oleh reduksi interaksi antar rantai pati akibat meningkatnya hidrofilitas pati setelah penambahan gugus asetil (H. Lee dan Yoo 2009). Faktor lain yang dapat mempengaruhi kelarutan adalah sumber pati, ikatan antar molekul pada area amorf dan kristalin, daya kembang, dan

keberadaan komponen lain seperti fosfor (Mat *et al.* 1992; Ambigaipalan *et al.* 2014).

Terdapat tiga mekanisme yang memungkinkan asetilasi mempengaruhi interaksi antar rantai pati. i) Rintangan sterik sederhana yang mencegah asosiasi jarak dekat rantai pati untuk membentuk ikatan hidrogen; ii) Merombak hidrofilitas pati dan mempengaruhi pengikatan molekul air; iii) Partisipasi gugus asetil dalam meningkatkan ikatan hidrogen dengan rantai pati lainnya (Huijun Liu, Ramsden, dan Corke 1998).

Berdasarkan berbagai analisis karakteristik fisik dan pati asetilasi, diketahui pati asetilasi memiliki kemampuan mengembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air yang tidak berbeda nyata dengan pati kentang. Pati asetilasi dapat digunakan untuk mensubstitusi pati kentang. Namun perlu dilakukan penelitian lebih mendalam terhadap faktor lain yang dapat mempengaruhi proses asetilasi serta respon di luar daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air. Pati asetilasi disarankan untuk digunakan sebagai penstabil, pengikat, dan pembentuk tekstur pada produk pangan seperti kue, daging restrukturisasi, dan pangan beku.



VI. PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, dapat disimpulkan respon daya kembang (0,839), kelarutan (0,353), dan kapasitas pengikatan air (0,185) pada pati ubi jalar asetilasi tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) pada uji *paired t-test* dengan pati kentang referensi.

Pada penelitian ini diterapkan model kuadratik dengan persamaan aktual untuk respon SP adalah $Y = -42,45727 + 8,48884X_1 + 6,67148X_2 - 0,270730 X_1 X_2 - 0,317968 X_1^2 - 0,159260 X_2^2$, untuk respon S adalah $Y = -35,90819 + 6,96254X_1 + 1,28132X_2 - 0,024574 X_1 X_2 - 0,334683 X_1^2 - 0,043964 X_2^2$, dan respon WBC adalah $Y = -113,31205 + 36,89575X_1 + 7,22105X_2 - 0,465459X_1 X_2 - 1,67172X_1^2 - 0,123100X_2^2$

Modifikasi asetilasi dengan penambahan natirum asetat anhidrat 11,69 g/100 g dan lama reaksi 13,06 menit dapat digunakan untuk mengubah sifat fungsional pati ubi jalar. Pati asetilasi memiliki kadar air $10,22 \pm 0,4\%$, kadar abu $0,50 \pm 0,02\%$, kadar amilosa $41,48 \pm 0,7\%$, kadar amilopektin $53,53 \pm 0,8\%$, kadar pati $95,01 \pm 0,49\%$, derajat kecerahan $87,31 \pm 0,01$, pH $5,2 \pm 0,00$, kapasitas pengikatan air $90,10 \pm 0,44\%$, daya kembang $32,29 \pm 1,69\text{g/g}$, dan kelarutan $5,06 \pm 0,16\%$. Analisis mikrofografi menggambarkan terjadinya pengklusteran granula disebabkan substitusi gugus hidrofilik pada pati asetilasi yang dapat meningkatkan terbantuknya ikatan hidrogen. Terdapat pita absorpsi pada $1735\text{--}1740\text{ cm}^{-1}$ (C=O *stretching* asetil), 1368 cm^{-1} (C-H asetil), dan 1234 cm^{-1} (C-O *stretching* asetil), serta penurunan intensitas peak $3000\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ sebagai bukti terjadinya asetilasi pada analisis ikatan antar atom. Analisis sifat *pasting* menunjukkan penurunan *setback* dan *breakdown* pati asetilasi yang mengimplikasikan kestabilan pasta yang lebih baik serta kecenderungan retrogradasi dan sineresis yang lebih rendah.

Modifikasi pati ubi jalar asetilasi dapat digunakan sebagai alternatif substitusi pati kentang komersial. Pati asetilasi disarankan untuk digunakan sebagai penstabil, pengikat, dan pembentuk tekstur pada produk pangan seperti kue, daging restrukturisasi, dan pangan beku.

6.2 Saran

- 1) Perlu dilakukan penelitian mengenai kajian metode modifikasi lain terhadap pati ubi jalar
- 2) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap respon lainnya maupun bersifat multirespon untuk pati ubi jalar
- 3) Perlu dilakukan penelitian mengenai aplikasi pati asetilasi pada produk pangan



DAFTAR PUSTAKA

Abbas, K. A., S. K. Khalil, dan A. S. Hussin. 2010. "Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study Modified Starches dan Their Usages in Selected Food Products: A Review Study." *Journal of Agricultural Science*, no. June. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p90>.

Adebowale, K O, Thomas Henle, Uwe Schwarzenbolz, dan Thomas Doert. 2009. "Modification dan Properties of African Yam Bean (*Sphenostylis Stenocarpa* Hochst. Ex A. Rich.) Harms Starch I: Heat Moisture Treatments and Annealing." *Food Hydrocolloids* 23 (7): 1947–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.002>.

Aina, Adebisola J, Kolawole O Falade, John O Akingbala, Pathelene Titus, dan P Titus. 2012. "Physicochemical Properties of Caribbean Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* (L) Lam) Starches." *Food Bioprocess Technology* 5 (2): 576–83. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0316-6>.

Alcázar-alay, Sylvia Carolina, dan Maria Angela Almeida Meireles. 2015. "Physicochemical Properties, Modifications and Applications of Starches from Different Botanical Sources." *Food Science dan Technology* 35 (2): 215–36.

Ambigaipalan, P, R Hoover, E Donner, dan Q Liu. 2014. "Starch Chain Interactions within the Amorphous dan Crystalline Domains of Pulse Starches during Heat-Moisture Treatment at Different Temperatures and Their Impact on Physicochemical Properties." *Food Chemistry* 143: 175–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.112>.

Ayucitra, Aning. 2012. "Preparation dan Characterisation of Acetylated Corn Starches." *International Journal of Chemical Engineering and Applications* 3 (3): 156–59.

Azhar, A, dan M K Hamdy. 1979. "Sonication Effect on Potato Starch and Sweet Potato Powder." *Journal of Food Science* 44: 801–4.

Bartolini, P. U. 1985. *Sweet Potato: Its Classification dan Description*. Philippine Root Crops Information Service.

Bello-pérez, Luis A, Edith Agama-acevedo, Paul B Zamudio-flores, Guadalupe Mendez-montealvo, dan Sdanra L Rodriguez-ambriz. 2010. "Effect of Low dan High Acetylation Degree in the Morphological, Physicochemical dan Structural Characteristics of Barley Starch." *LWT - Food Science dan Technology* 43 (9): 1434–40. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.003>.

Bemiller, James N. 2011. "Pasting, Paste, dan Gel Properties of Starch–Hydrocolloid Combinations." *Carbohydrate Polymers* 86 (2): 386–423. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.064>.

BeMiller, James, dan Roy Whistler. 2009. *Starch: Chemistry dan Technology*. Third. Academic Press.

Bertolini, Danrea C. 2010. *Starches Characterization, Properties, dan Applications*. DRD Press.

Betancur, Ancona David, Guerrero Luis Chel, dan Eduardo Can. 1997. "Acetylation dan Characterization of Canavalia Ensiformis Starch." *Journal of Agricultural dan Food Chemistry* 45 (2): 378–82. <https://doi.org/10.1021/jf960272e>.

Biliaderis, C. G., T. J. Maurice, dan J. R. Vose. 1980. "Starch Gelatinization Phenomena Studied By Differential Scanning Calorimetry." *Journal of Food Science* 45 (6): 1669–74. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb07586.x>.

Blazek, Jaroslav, dan Les Copeldan. 2008. "Pasting dan Swelling Properties of Wheat Flour and Starch in Relation to Amylose Content." *Carbohydrate Polymers* 71: 380–87. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>.

Blech, Zushe Yosef. 2006. "Kosher for Passover." In *Kosher Food Production*, 97–114. Blackwell Publishing.

Boediono, Mario P A D R. 2012. "Pemisahan dan Pencirian Amilosa Dan Amilopektin Dari Pati Jagung dan Pati Kentang Pada Berbagai Suhu."

Bolade, Mathew Kolawole, dan Ojo Josiah Oni. 2015. "Influence of Acetylation on the Physicochemical Properties of Compositated Starches from Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* L.) dan Water Yam (*Dioscorea Alata* L.)." *African Journal of Biotechnology* 14 (51): 3340–49. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14881>.

Bulkin, Bernard J., dan Yoon Kwak. 1987. "Retrogradation Kinetics of Waxy-Corn and Potato Starches; a Rapid, Raman-Spectroscopic Study." *Carbohydrate Research* 160: 95–112.

Buwalda, Piet L. 2014. "Formulating Gelatin Free Products." In *Food Texture Design and Optimization*, edited by John Wiley & Sons, 1st ed., 9780470672:93–107. <https://doi.org/10.1002/9781118765616.ch5>.

Castanha, Nanci, Débora Nascimento Santos, Rosiane Lopes Cunha, dan Pedro Esteves Duarte Augusto. 2018. "Properties and Possible Applications of Ozone-Modified Potato Starch." *Food Research International*, #pagerange#. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.064>.

Chakraborty, M, K Matkovic, D G Grier, Eric L Jarabek, William A Berzonsky, Michael S McMullen, dan Douglas C Doehlert. 2004. "Physicochemical dan Functional Properties of Tetraploid and Hexaploid Waxy Wheat Starch." *Starch/Stärke* 56: 339–47. <https://doi.org/10.1002/star.200300250>.

Chen, Pei, Long Yu, George Simon, Eustathios Petinakis, Katherine Dean, dan Ling Chen. 2009. "Morphologies dan Microstructures of Cornstarches with Different Amylose–Amylopectin Ratios Studied by Confocal Laser Scanning Microscope." *Journal of Cereal Science* 50 (2): 241–47. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.06.001>.

Chen, Z., H. A. Schols, dan A. G.J. Voragen. 2003. "Starch Granule Size Strongly Determines Starch Noodle Processing and Noodle Quality." *Journal of Food Science* 68 (5): 1584–89. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12295.x>.

Chen, Zhenghong. 2003. "Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches and Their Application in Noodle Products." Wageningen University.

Chen, Zhenghong, Henk A. Schols, dan Alphons G.J. Voragen. 2004. "Differently Sized Granules from Acetylated Potato dan Sweet Potato Starches Differ in the Acetyl Substitution Pattern of Their Amylose Populations." *Carbohydrate Polymers* 56 (2): 219–26. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.02.004>.

Chi, Hui, Kun Xu, Xiuli Wu, Qiang Chen, Donghua Xue, Chunlei Song, Wende Zhang, dan Pixin Wang. 2008. "Effect of Acetylation on the Properties of Corn Starch." *Food Chemistry* 106 (3): 923–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.002>.

Chibuzo, Iheagwara Marcquin. 2012. "Physicochemical and Retrogradation Characteristics of Modified Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* L. (Lam)) Starch." *Journal of Agriculture dan Food Technology* 2 (3): 49–55.

Collado, L. S., L. B. Mabesa, C. G. Oates, dan H. Corke. 2001. "Bihon-Type Noodles from Heat-Moisture-Treated Sweet Potato Starch." *Journal of Food Science* 66 (4): 604–9.

Collado, Lilia S, R C Mabesa, Harold Corke, dan Los Ban. 1999. "Genetic Variation in the Physical Properties of Sweet Potato Starch." *Journal of Agriculture dan Food Chemistry* 47: 4195–4201.

Colussi, Rosana, Shanise Lisie, Mello El, Vania Zanella, Josiane Bartz, Luiz Carlos, Rosa Zavareze, Alvaro Renato, dan Guerra Dias. 2015. "Acetylation of Rice Starch in an Aqueous Medium for Use in Food." *LWT - Food Science dan Technology* 62 (2): 1076–82. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.053>.

Copeldan, Les, Jaroslav Blazek, Hayfa Salman, dan Mary Chiming Tang. 2009. "Form dan Functionality of Starch." *Food Hydrocolloids* 23 (6): 1527–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>.

Crosbie, G B. 1991. "The Relationship between Starch Swelling Properties, Paste Viscosity and Boiled Noodle Quality in Wheat Flours." *Journal of Cereal Science* 13 (2): 145–50. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(09\)80031-3](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(09)80031-3).

Das, Amit Baran, Gagdaneep Singh, Sukhcharan Singh, dan Charanjit S Riar. 2010. "Effect of Acetylation and Dual Modification on Physico-Chemical, Rheological dan Morphological Characteristics of Sweet Potato (*Ipomoea Batatas*) Starch." *Carbohydrate Polymers* 80 (3): 725–32. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.018>.

Deng, Fu-ming, Tai-hua Mu, Miao Zhang, dan Oluwaseyi Kemi Abegunde. 2013. "Composition, Structure, and Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches Isolated by Sour Liquid Processing and Centrifugation." *Starch/Stärke* 65: 162–71. <https://doi.org/10.1002/star.201200106>.

Din, Zia-ud-, Hanguo Xiong, dan Peng Fei. 2015. "Physical and Chemical Modification of Starches - A Review." *Critical Reviews in Food Science dan Nutrition* 8398: 1549–7852. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>.

Doing. 2020. "Difference between Sweet Potato Starch and Potato Starch." 2020. https://www.cassavaprocessing.com/Blog/difference_between_sweet_potat

o_starch_and_potato_starch_86.html#:~:text=The usages of sweet potato,starch has strong water absorption.&text=The stability of potato starch,original taste of the ingredients.

Doublier, By J. 1981. "Rheological Studies on Starch-Flow Behaviour of Wheat Starch Pastes." *Starch/Stärke* 33 (12): 2–7.

Douzals, J P, J M Perrier Cornet, P Gervais, dan J C Coquille. 1998. "High-Pressure Gelatinization of Wheat Starch dan Properties of Pressure-Induced Gels." *Journal of Agriculture dan Food Chemistry* 46: 4824–29.

Ertekin, Can, dan M. Ziya Firat. 2017. "A Comprehensive Review of Thin-Layer Drying Models Used in Agricultural Products." *Critical Reviews in Food Science dan Nutrition* 57 (4): 701–17. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493>.

FAO. 1990. "Roots, Tubers, Plantains and Bananas in Human Nutrition." 1990. 1990.

FAOSTAT. 2020. "Sweet Potato." 2020. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

———. 2021. "Potato Starch." 2021. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/SD>.

Farooq, Zubair, dan Joyce I Boye. 2011. "Nove; Food dan Industrial Applications of Pulse Flours dan Fractions." In *Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications*, 1st ed., 283–324. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382018-1.00011-3>.

Fellows, P.J. 2000. "Food Processing Technology: Principles dan Practice, Second Edition, Parts 1-4," 608. http://www.webpal.org/SAFE/aaarecovery/2_food_storage/Food Processing Technology.pdf%0Ahttps://books.google.com/books?id=w6nJo2ZUI4MC&pgis=1.

Fenster, Carol. 2010. *100 Best Gluten-Free Recipes (100 Best Recipes)*. Houghton Mifflin Harcourt.

Gallant, D., M. Degrois, C. Sterling, dan A. Guilbot. 1972. "Microscopic Effects of Ultrasound on the Structure of Potato Starch Preliminary Study." *Starch/Stärke* 24 (4): 116–23. <https://doi.org/10.1002/star.19720240405>.

Ginting, E, Y Widodo, S A Rahayuningsih, dan M Jusuf. 2005. "Karakteristik Pati Beberapa Varietas Ubi Jalar." *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 24 (1): 8–18.

Gonzalez, Zurima, dan Elevina Perez. 2002. "Effect of Acetylation on Some Properties of Rice Starch." *Starch/Stärke* 54 (3–4): 148–54. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200204\)54:3/4<148::AID-STAR148>3.0.CO;2-N](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-379X(200204)54:3/4<148::AID-STAR148>3.0.CO;2-N).

Gray, J A, dan J N Bemiller. 2003. "Bread Staling: Molecular Basis dan Control." *Comprehensive Reviews in Food Science dan Food Safety* 2 (2).

Grommers, Hielko E., dan Do A. van der Krogt. 2009. "Potato Starch: Production, Modifications dan Uses." In *Starch*, Third Edit, 511–39. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00011-2>.

Gryszkin, A., T. Zięba, M. Kapelko, dan A. Buczek. 2014. "Effect of Thermal Modifications of Potato Starch on Its Selected Properties." *Food Hydrocolloids* 40: 122–27.

Gujral, Hardeep Singh, Paras Sharma, dan Harprabdeep Kaur. 2011. "Physiochemical, Pasting, dan Thermal Properties of Starch Isolated from Different Barley Cultivars." *International Journal of Food Properties* 16 (7): 1494–1506. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.595863>.

Halal, Shanise Lisie Mello El, Rosana Colussi, Vânia Zanella Pinto, Josiane Bartz, Marjana Radunz, Neftali Lenin Villarreal Carreño, Alvaro Renato Guerra Dias, dan Elesdanra Da Rosa Zavareze. 2015. "Structure, Morphology and Functionality of Acetylated and Oxidised Barley Starches." *Food Chemistry* 168: 247–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.046>.

Han, Xian Zhong, dan Bruce R. Hamaker. 2001. "Amylopectin Fine Structure and Rice Starch Paste Breakdown." *Journal of Cereal Science* 34 (3): 279–84. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0374>.

Hemar, Yacine, Allan Hardacre, Duncan I Hedderley, Suzanne Clark, David Illingworth, Jim W. Harper, dan Mike Boldan. 2007. "Relationship between the Pasting Behaviour and the Phosphorus Content of Different Potato Starches." *Starch/Stärke* 59: 149–55. <https://doi.org/10.1002/star.200600574>.

Heo, Hyemi, Yun-kyung Lee, dan Yoon Hyuk Chang. 2017. "Rheological, Pasting, and Structural Properties of Potato Starch by Cross-Linking." *International Journal of Food Properties* 20 (2): 2138–50. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1368549>.

Hermansson, Anne-marie, dan Karin Svegmarm. 1996. "Developments in the Understanding of Starch Functionality" 71 (November): 345–53.

Hoover, R & Sosulski, F. 1986. "Effect of Cross-Linking on Functional Properties of Legume Starches." *Starch/Stärke* 38 (5): 149–55.

Hoover, R., dan D. Hadziyev. 1981. "Characterization of Potato Starch and Its Monoglyceride Complexes." *Starch - Stärke* 33 (9): 290–300. <https://doi.org/10.1002/star.19810330903>.

Hoover, R. 2001. "Composition, Molecular Structure, and Physicochemical Properties of Tuber dan Root Starches: A Review." *Carbohydrate Polymers* 45: 253–67. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5).

Horstmann, Stefan W, Kieran M Lynch, dan Elke K Arendt. 2017. "Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products." *Foods* 6 (29). <https://doi.org/10.3390/foods6040029>.

Huang, Junrong, Henk A Schols, Rianne Klaver, dan Zhengyu Jin. 2007. "Acetyl Substitution Patterns of Amylose dan Amylopectin Populations in Cowpea Starch Modified with Acetic Anhydride dan Vinyl Acetate" 67: 542–50. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.027>.

Huber, Kerry C, dan James N Bemiller. 2001. "Location of Sites of Reaction within Starch Granules." *Cereal Chemistry* 78 (2): 173–80. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.2.173>.

Iheagrawa, M. C. 2013. "Isolation, Modification and Characterization of Sweet Potato (*Ipomea Batatas* L (Lam)) Starch." *Food Processing & Technology* 4 (1). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000198>.

ILO. 2012. "Kajian Ubi Jalar Dengan Pendekatan Rantai Nilai."

ISI. 2018. "International Starch_ Sweet Potato Granula 4-40 Amilosa 19-25%." 2018.

IST. 2009. "Industrial Food Starches." 2009.

Jane, J. 1995. "Starch Properties, Modifications, dan Applications." *Journal of Macromolecular Science*, no July 2013: 37-41. <https://doi.org/10.1080/10601329508010286>.

Jane, Jay-lin, Tunyawat Kasemsuan, Sharon Leas, Ames Ia, Henzy Zobel, Darien II, dan John F Robyt. 1994. "Anthology of Starch Granule Morphology by Scanning Electron Microscopy." *Starch/Stärke* 46 (5): 121-29.

Jane, Jay-lin, dan James J Shen. 1993. "Internal Structure of the Potato Starch Granule Revealed by Chemical Gelatinization." *Carbohydrate Polymers* 247: 279-90.

Joly, G., dan B. Danerstein. 2009. "Starches." In *Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality dan Applications*, edited by Rodrigo Tarté. Springer Science + Business Media.

Julianti, Elisa, Herla Rusmarilin, Ridwansyah, dan Era Yusraini. 2017. "Functional dan Rheological Properties of Composite Flour from Sweet Potato, Maize, Soybean and Xanthan Gum." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.005>.

Jungjunan, Bagea. 2016. "Bisnis Tepung Kentang Di Indonesia, Kenapa Tidak?" 2016.

Karapantsios, Thodoris D. 2006. "Conductive Drying Kinetics of Pregelatinized Starch Thin Films" 76: 477-89. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.047>.

Karim, A A, L C Toon, V P L Lee, W Y Ong, A Fazilah, dan T Noda. 2007. "Effects of Phosphorus Contents on the Gelatinization dan Retrogradation of Potato Starch." *Journal of Food Science* 72 (2): 132-38. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00251.x>.

Kaur, Amritpal, Narpinder Singh, Rajrathnam Ezekiel, dan Harmeet Singh Guraya. 2007. "Physicochemical, Thermal and Pasting Properties of Starches Separated from Different Potato Cultivars Grown at Different Locations." *Food Chemistry* 101: 643-51. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.054>.

Kaur, Lovedeep, Narpinder Singh, dan Jaspreet Singh. 2004. "Factors Influencing the Properties of Hydroxypropylated Potato Starches" 55: 211-23. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.09.011>.

Kaur, Lovedeep, Narpinder Singh, dan Navdeep Singh Sodhi. 2002. "Some Properties of Potatoes dan Their Starches II. Morphological, Thermal and Rheological Properties of Starches." *Food Chemistry* 79: 183-92.

Kaur, Manmeet, D. P.S. Oberoi, D. S. Sogi, dan Balmeet Singh Gill. 2011. "Physicochemical, Morphological and Pasting Properties of Acid Treated Starches from Different Botanical Sources." *Journal of Food Science dan Technology* 48 (4): 460–65. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0126-x>.

Kementerian Perindustrian, Kemenperin. 2016. "Kemenperin Dorong Pengembangan Industri Pangan Olahan." 2016. 2016.

Kementerian Pertanian. 2016. "Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Tanaman Pangan-Ubi Jalar."

Kementrian Pertanian. 2013. *Outlook Komoditi Kentang*.

Kumoro, A. C., D. S. Retnowati, R. Ratnawati, dan M. Widiyanti. 2019. "Effect of Temperature dan Reaction Time on the Swelling Power dan Solubility of Gadung (*Dioscorea Hispida* Dennst) Tuber Starch during Heat Moisture Treatment Process." *Journal of Physics: Conference Series* 1295 (012062). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012062>.

Labuschagne, Maryke T., Nemera Geleta, dan Garry Osthoff. 2007. "The Influence of Environment on Starch Content dan Amylose to Amylopectin Ratio in Wheat." *Starch/Stärke* 59 (5): 234–38. <https://doi.org/10.1002/star.200600542>.

Lawal, Olayide S. 2004. "Composition, Physicochemical Properties dan Retrogradation Characteristics of Native, Oxidised, Acetylated and Acid-Thinned New Cocoyam (*Xanthosoma Sagittifolium*) Starch." *Food Chemistry* 87: 205–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.013>.

Lebot, Vincent. 2009. *Tropical Root dan Tuber Crops: Cassava, Sweet Potato, Yams dan Aroids*.

Lee, H L, dan B Yoo. 2011. "Effect of Hydroxypropylation on Physical dan Rheological Properties of Sweet Potato Starch." *LWT - Food Science and Technology* 44 (3): 765–70. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.09.012>.

Lee, Hye-lin, dan Byoungseung Yoo. 2009. "Dynamic Rheological dan Thermal Properties of Acetylated Sweet Potato Starch." *Starch/Stärke* 61 (7): 407–13. <https://doi.org/10.1002/star.200800109>.

Li, Jeng-yune, dan An-i Yeh. 2001. "Relationships between Thermal, Rheological Characteristics and Swelling Power for Various Starches." *Journal of Food Engineering* 50 (3): 141–148. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00236-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00236-3).

Lim, T. K. 2016a. *Edible Medicinal dan Non-Medicinal Plants*. Vol. 12. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26065-5>.

Lim, T.K. 2016b. *Solanum Tuberosum*. Vol. 12. Switzerldan: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26065-5>.

Lintang, Meivie, Payung Layuk, dan G H Joseph. 2017. "Karakteristik Tepung Umbi Daluga (*Cyrtosperma Merkussi*), Wongkai (*Dioscorea* Sp), Kolerea (*Colocasia*, Sp), Dan Longki (*Xanthosoma*, Sp) Asal Sulawesi Utara, Substitusi Terigu Untuk Pangan Pokok." *Jurnal Penelitian Pascapanen*

- Pertanian* 13 (2): 83. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v13n2.2016.83-90>.
- Liu, Hua, John Lelievre, dan Wendy Ayong-chee. 1991. "A Study of Starch Gelatinization Using Differential Scanning Calorimetry, X-Ray, and Birefringence Measurements." *Carbohydrate Research* 210: 79–87.
- Liu, Huijun, Lawrence Ramsden, dan Harold Corke. 1998. "Physical Properties dan Enzymatic Digestibility of Acetylated Ae, Wx, and Normal Maize Starch." *Carbohydrate Polymers* 34 (1997): 283–89.
- Liu, Q, E Weber, V Currie, dan R Yada. 2003. "Physicochemical Properties of Starches during Potato Growth" 51: 213–21.
- Liu, Qiang, Elizabeth Donner, Richard Tarn, Jaspreet Singh, dan Hyun-Jung Chung. 2009. "Advanced Analytical Techniques to Evaluate the Quality of Potato and Potato Starch." In *Advances in Potato Chemistry dan Technology*, First Edit, 221–48. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374349-7.00008-8>.
- Luo, Zhi-gang, dan Yong-cheng Shi. 2012. "Preparation of Acetylated Waxy, Normal, and High-Amylose Maize Starches with Intermediate Degrees of Substitution in Aqueous Solution dan Their Properties," 3–10.
- Martunis. 2012. "Pengaruh Suhu Dan Lama Pengeringan Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Pati Kentang Varietas Granola." *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia* 4 (3): 26–30.
- Mat, B, S N Moorthy, J R Mitchell, S E Hill, K J Linfoot, dan J M V Blanshard. 1992. "The Effect of Low Levels Antioxidants on the Swelling and Solubility of Sassava Starch." *Starch/Stärke* 44 (12): 471–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.19920441206>.
- Mbougoung, P. D., D. Tenin, J. Scher, dan C. Tchiégang. 2012. "Influence of Acetylation on Physicochemical, Functional dan Thermal Properties of Potato dan Cassava Starches." *Journal of Food Engineering* 108 (2): 320–26. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.006>.
- Mcshane, Blakeley B, David Gal, Blakeley B Mcshane, dan David Gal. 2017. "Statistical Significance dan the Dichotomization of Evidence." *Journal of the American Statistical Association* 112 wija (519): 885–908. <https://doi.org/10.1080/01621459.2017.1289846>.
- Meiss, P E, R H Treadway, dan Lee T Smith. 1944. "White Potato Starches." *Industrial dan Engineering Chemistry* 36 (2): 159–63.
- Miles, Mervyn J., Vistor J. Morris, Paul D. Orford, dan Stephen G. Ring. 1985. "The Roles of Amylose and Amylopectin in the Gelation dan Retrogradation of Starch." *Carbohydrate Research* 135: 271–81.
- Mirmoghtadaie, Leila, Mahdi Kadivar, dan Mohammad Shahedi. 2009. "Effects of Cross-Linking and Acetylation on Oat Starch Properties." *Food Chemistry* 116 (3): 709–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.019>.
- Moore, C. O., J. V. Tuschhoff, C. W. Hastings, dan R. V. Schanefelt. 1984. *Applications of Starches in Foods*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12->

746270-7.50025-2.

Morrison, W R, dan M Nasir Azudin. 1987. "Variation in the Amylose dan Lipid Contents and Some Physical Properties of Rice Starches." *Journal of Cereal Science* 5 (1): 35–44. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(87\)80007-3](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(87)80007-3).

Mu, Taihua, Hongnan Sun, Miao Zhang, dan Cheng Wang. 2017. "Sweet Potato Starch and Its Series Products." In *Sweet Potato Processing Technology*, 1–48. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812871-8.00001-5>.

Muhdanri, Tjahja, Dase Hunaefi, Sutrisno Koswara, dan Subarna. 2015. "Pendirian Unit Pengolahan Pati Dan Tepung Ubi Jalar Di Bogor Jawa Barat." *Prosiding Seminar Hasil-Hasil PPM IPB I*: 246–62.

Mweta, Davies Emmanuel, dan Susanna Bonnet. 2009. "Physicochemical, Functional dan Structural Properties of Native Malawian Cocoyam and Sweetpotato Starches." University of The Free State Bloemfontein, South Africa.

Nabubuya, Agnes, Agnes Namutebi, Yusuf Byaruhanga, Reidar B. Schuller, Judith Narvhus, dan Trude Wicklund. 2017. "Viscoelastic Properties of Sweet Potato Complementary Porridges as Influenced by Endogenous Amylases." *Food Science dan Nutrition* 5 (6): 1072–78. <https://doi.org/10.1002/fsn3.492>.

Noda, Takahiro. 2010. "The Enzymatic Digestibility dan Phosphate Content in Potato Starches." Tokyo.

Noda, Takahiro, Nisha Sulari, Shogo Tsuda, Motoyuki Mori, Naoto Hashimoto, dan Hiroaki Yamauchi. 2007. "Starch Phosphorus Content in Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Cultivars dan Its Effect on Other Starch Properties." *Carbohydrate Polymers* 68: 793–96. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.08.005>.

Nurdjanah, Siti, Susilawati, Udin Hasanudin, dan Ayu Anitasari. 2019. "Pengaruh Varietas Dan Umur Panen Terhadap Sifat Fisiko Kimia Ubi Kayu Manis (*Manihot Esculenta* Crantz) Asal Kecamatan Palas, Kabupaten Lampung Selatan." *Universitas Lampung*.

Nuwamanya, Ephraim, Yona Baguma, Enoch Wembabazi, dan Patrick Rubaihayo. 2011. "A Comparative Study of the Physicochemical Properties of Starches from Root , Tuber and Cereal Crops" 10 (56): 12018–30. <https://doi.org/10.5897/AJB10.2310>.

Nwokocho, Louis M, Ndubisi A Aviara, Chdandra Senan, dan Peter A Williams. 2014. "A Comparative Study of Properties of Starches from Irish Potato (*Solanum Tuberosum*) and Sweet Potato (*Ipomea Batatas*) Grown in Nigeria." *Starch/Stärke* 66: 714–23. <https://doi.org/10.1002/star.201300237>.

Pérez, Serge, dan Eric Bertoft. 2010. "The Molecular Structures of Starch Components and Their Contribution to the Architecture of Starch Granules: A Comprehensive Review." *Starch/Stärke* 62: 389–420. <https://doi.org/10.1002/star.201000013>.

Pertanian, Kementerian. 2013. "Outlook Komoditi Kentang."

Pramodrao, K S, dan C S Riar. 2014. "Comparative Study of Effect of Modification with Ionic Gums and Dry Heating on the Physicochemical Characteristic of Potato, Sweet Potato and Taro Starches." *Food Hydrocolloids* 35: 613–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.006>.

Ragae, Sanaa, dan El-Sayed M Abdel-Aal. 2006. "Pasting Properties of Starch dan Protein in Selected Cereals and Quality of Their Food Products." *Food Chemistry* 95 (1): 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.012>.

Raina, C S, S Singh, A S Bawa, dan D C Saxena. 2005. "Rheological Properties of Chemically Modified Rice Starch Model Solutions." *Journal of Food Process Engineering* 29 (2006): 134–48.

———. 2006. "Some Characteristics of Acetylated, Cross-Linked and Dual Modified Indian Rice Starches." *European Food Research dan Technology* 223 (4): 561–70. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0239-z>.

Raissi, S, dan R- Eslami Farsani. 2009. "Statistical Process Optimization through Multi-Response Surface Methodology." *International Science Index* 3 (3): 247–51.

Ramadhani, Reshita Amalia, Dody Herdian, Saputra Riyadi, dan Bayu Triwibowo. 2017. "Review Pemanfaatan Design Expert Untuk Optimasi Komposisi Campuran Minyak Nabati Sebagai Bahan Baku Sintesis Biodiesel." *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan* 1 (1): 11–16.

Rauf, Rusdin, dan Dwi Sarbini. 2015. "Water Absorption as Reference to Determine the Volume of Water in Dough Making." *AGRITECH* 35 (3): 324–30.

Rizal, Saifur, Sumardi Hadi Sumarlan, dan Rini Yulianingsih. 2013. "Pengaruh Konsentrasi Natrium Bisulfit Dan Suhu Pengeringan Terhadap Sifat Fisik-Kimia Tepung Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*) Influence Sodium Bisulfite Concentration dan Drying Temperature Toward." *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis* 1 (2): 1–10.

Sánchez-Rivera, M. M, F.J.L Garcí a-Sua rez, M Vela zquez del Valle, F Gutierrez-Meraz, dan L.A Bello-Pe rez. 2005. "Partial Characterization of Banana Starches Oxidized by Different Levels of Sodium Hypochlorite." *Carbohydrate Polymers* 62: 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.005>.

Sari, Fitrah Kurnia, Nurhayati, dan Djumarti. 2013. "Ekstraksi Pati Resisten Dari Tiga Varietas Kentang Lokal Yang Berpotensi Sebagai Kandidat Prebiotik." *Berkala Ilmiah PERTANIAN* 1 (November): 38–42.

Sasaki, Tomoko, Takeshi Yasui, dan Junko Matsuki. 2000. "Effect of Amylose Content on Gelatinization, Retrogradation, and Pasting Properties of Starches from Waxy dan Nonwaxy Wheat dan Their F1 Seeds." *Cereal Chemistry* 77 (1): 58–63.

Schirmer, Markus, Mario Jekle, dan Thomas Becker. 2015. "Starch Gelatinization dan Its Complexity for Analysis." *Starch/Stärke* 67: 30–41. <https://doi.org/10.1002/star.201400071>.

Senanayake, Suraji A, K K D S Ranaweera, Anil Gunaratne, dan Arthur Bamunuarachchi. 2013. "Comparative Analysis of Nutritional Quality of Five Different Cultivars of Sweet Potatoes (*Ipomea Batatas* (L) Lam) in Sri Lanka." *Food Science dan Nutrition* 1 (4): 284–91. <https://doi.org/10.1002/fsn3.38>.

Senanayake, Suraji, Anil Gunaratne, Kkds Ranaweera, dan Arthur Bamunuarachchi. 2013. "Effect of Heat Moisture Treatment Conditions on Swelling Power dan Water Soluble Index of Different Cultivars of Sweet Potato (*Ipomea Batatas* (L). Lam) Starch." *ISRN Agronomy* 2013.

Sheikha, A. F El, dan R. C Ray. 2015. "Potential Impacts of Bio-Processing of Sweet Potato: Review," 37–41. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.960909>.

Shimbo, Hiroko. 2000. *The Japanese Kitchen: 250 Recipes in a Traditional Spirit*. The Harvard Common Press.

Shiotsubo, Toshiko. 1983. "Starch Gelatinization at Different Temperatures as Measured by Enzymic Digestion Method." *Agricultural dan Biological Chemistry* 47 (11): 2421–25. <https://doi.org/10.1271/bbb1961.47.2421>.

Shrestha, Ashok K, dan Peter J Halley. 2014. *Starch Modification to Develop Novel Starch-Biopolymer Blends: State of Art dan Perspectives*. *Starch Polymers*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53730-0.00022-1>.

Sia Morhardt, Emil Morhardt. 2004. *California Desert Flowers: An Introduction to Families, Genera, dan Species*. University of California Press.

Singh, Harinder, Navdeep Singh Sodhi, dan N Singh. 2012. "Structure dan Functional Properties of Acetylated Sorghum Starch." *International Journal of Food Properties*, no. July 2013: 37–41. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.483633>.

Singh, Jaspreet, Rosana Colussi, Owen J Mccarthy, dan Lovedeep Kaur. 2016. *Potato Starch and Its Modification. Advances in Potato Chemistry dan Technology*. Second Edi. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00008-X>.

Singh, Jaspreet, Lovedeep Kaur, dan O J Mccarthy. 2007a. "Factors Influencing the Physico-Chemical, Morphological, Thermal and Rheological Properties of Some Chemically Modified Starches for Food Applications—A Review." *Food Hydrocolloids* 21 (1): 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.02.006>.

_____. 2007b. "Factors Influencing the Physico-Chemical , Morphological , Thermal and Rheological Properties of Some Chemically Modified Starches for Food Applications — A Review." *Food Hydrocolloids* 21: 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.02.006>.

Singh, Jaspreet, Lovedeep Kaur, dan Narpinder Singh. 2004. "Effect of Acetylation on Some Properties of Corn and Potato Starches." *Starch/Stärke* 56 (12): 586–601, <https://doi.org/10.1002/star.200400293>.

Singh, Narpinder, Deepika Chawla, dan Jaspreet Singh. 2004. "Influence of Acetic Anhydride on Physicochemical, Morphological and Thermal Properties of Corn and Potato Starch." *Food Chemistry* 86 (4): 601–8.



- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.008>.
- Sman, R. G.M. Van Der, dan J. Broeze. 2013. "Structuring of Indirectly Expanded Snacks Based on Potato Ingredients: A Review." *Journal of Food Engineering* 114 (4): 413–25. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.001>.
- SNI. 2009. "SNI 01-3751-2009: Tepung Terigu Sebagai Bahan Makanan," 39.
- Sodhi, Navdeep Singh, dan Narpinder Singh. 2005. "Characteristics of Acetylated Starches Prepared Using Starches Separated from Different Rice Cultivars." *Journal of Food Engineering* 70 (1): 117–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.018>.
- Srichuwong, Sathaporn, Titi Cdanra Sunarti, Takashi Mishima, Naoto Isono, dan Makoto Hisamatsu. 2005. "Starches from Different Botanical Sources II: Contribution of Starch Structure to Swelling dan Pasting Properties." *Carbohydrate Polymers* 62 (1): 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.003>.
- Suherman, Suherman, Evan Eduard Susanto, dan Abdullah Busairi. 2019. "Applications of Solar Dryer for Seaweed and Cassava Starch." *Journal of Physics: Conference Series* 1295 (1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012001>.
- Sunyoto, M, R Danoyo, H A Radiani, dan C T Michelle. 2016. "Kajian Sifat Fungsional Pati Ubi Jalar Melalui Perlakuan Modifikasi Heat Moisture Treatment Sebagai Sediaan Pangan Darurat." *Jurnal Sains Dan Teknologi* 5 (2).
- Surendra Babu, A., R. Parimalavalli, K. Jagannadham, J. Sudhakara Rao, dan R. Shalini Gaur. 2016. "Fat Mimicking Properties of Citric Acid Treated Sweet Potato Starch." *International Journal of Food Properties* 19 (1): 139–53. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1020390>.
- Svihus, B., A. K. Uhlen, dan O. M. Harstad. 2005. "Effect of Starch Granule Structure, Associated Components dan Processing on Nutritive Value of Cereal Starch: A Review." *Animal Feed Science dan Technology* 122 (3–4): 303–20. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025>.
- Takeda, Y, A Suzuki, dan S Hizukuri. 1988. "Influence of Steeping Conditions for Kernels on Some Properties of Corn Starch." *Starch/Stärke* 40 (4): 132–35.
- Takizawa, Fabiano Franco, Graziela De Oliveira, dan Francisco Eneias Konkel. 2004. "Characterization of Tropical Starches Modified with Potassium Permanganate and Lactic Acid." *Biology dan Technology* 47 (November): 921–31.
- Tester, R F, X Qi, dan J Karkalas. 2006. "Hydrolysis of Native Starches with Amylases." *Animal Feed Science dan Technology* 130: 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.016>.
- Tester, Richard F., dan John Karkalas. 1996. "Swelling dan Gelatinization of Oat Starches." *Cereal Chemistry* 73 (2): 271–77. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2009.02.037>.

Tester, Richard F, John Karkalas, dan Xin Qi. 2004. "Starch—Composition, Fine Structure and Architecture." *Journal of Cereal Science* 39: 151–65. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>.

Thao, Ho Minh, dan Athapol Noomhorm. 2011. "Physicochemical Properties of Sweet Potato and Mung Bean Starch and Their Blends for Noodle Production." *Journal of Food Process Technology* 2 (1): 1–9. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000105>.

Tharanathan, Rudrapatnam N. 2005. "Starch—Value Addition by Modification Starch," 371–84. <https://doi.org/10.1080/10408390590967702>.

Thiele, Graham, Guy Hareau, dan Merideth Bonierbale. 2008. *Varietal Change in Potatoes in Developing Countries and the Contribution of the International Potato Center: 1972-2007*.

Tian, S J, J E Rickardb, dan J M V Blanshard. 1991. "Physicochemical Properties of Sweet Potato Starch." *Journal of the Science of Food dan Agriculture* 57: 459–91.

Tziotis, Amalia, Koushik Seetharaman, Jeffrey D Klucinec, Peter Keeling, dan Pamela J White. 2005. "Functional Properties of Starch from Normal and Mutant Corn Genotypes" 61: 238–47. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.04.003>.

Ulfa, Grace Maria, Widya Dwi Rukmi Putri, dan Simon Bambang Widjanarko. 2019. "The Influence of Sodium Acetate Anhydrous in Swelling Power, Solubility, dan Water Binding Capacity of Acetylated Sweet Potato Starch." In *AIP Conference Proceedings*, 2120:050021. <https://doi.org/10.1063/1.5115697>.

Visavarunroj, N.; Remon, J. P. 1991. "An Evaluation of Hydroxypropyl Starch as Disintegrant dan Binder in Tablet Formulation." *Drug Development dan Industrial Pharmacy* 17 (10): 1389–96.

Wang, Siyu, Xiaopei Hu, Zhu Wang, Qiqi Bao, Bo Zhou, Tuoping Li, dan Suhong Li. 2020. "Preparation dan Characterization of Highly Lipophilic Modified Potato Starch by Ultrasound dan Freeze-Thaw Treatments." *Ultrasonics Sonochemistry* 64 (January): 105054. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105054>.

Whistler, R., dan J. Daniel. 1984. "Molecular Structure of Starch." <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746270-7.50012-4>.

Widaningrum, Endang Yuli, dan S Joni Munarso. 2003. "Kajian Terhadap SNI Mutu Pati Sagu." *Jurnal Stdanardisasi* 73: 91–98.

Widodo, Yudi, Sri Wahyuningsih, dan Aya Ueda. 2015. "Sweet Potato Production for Bio-Ethanol dan Food Related Industry in Indonesia: Challenges for Sustainability." *Procedia Chemistry* 14: 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.066>.

Wilkins, M R, P Wang, L Xu, Y Niu, M E Tumbleson, dan K D Rausch. 2003. "Variability of Reaction Efficiencies dan Pasting Properties of Acetylated Dent Corn Starch from Various Commercial Hybrids." *Cereal Chemistry* 80 (1): 72–75.

Witczak, Mariusz, Jarosław Korus, Rafał Ziobro, dan Lesław Juszczak. 2019. "Waxy Starch as Dough Component and Anti-Staling Agent in Gluten-Free Bread." *LWT - Food Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.009>.

Woolfe, Jennifer A. 1992. "Sweet Potato: An Untapped Food Resource."

Wootton, M., dan A. Bamunuarachchi. 1978. "Water Binding Capacity of Commercial Produced Native and Modified Starches." *Starch/Stärke* 30 (9): 306–9. <https://doi.org/10.1002/star.19780300905>.

Xie, Fengwei, Long Yu, Ling Chen, dan Lin Li. 2008. "A New Study of Starch Gelatinization under Shear Stress Using Dynamic Mechanical Analysis." *Carbohydrate Polymers* 72: 229–34.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.08.007>.

Xu, Yixiang, Vesselin Miladinov, dan Milford A Hanna. 2004. "Synthesis dan Characterization of Starch Acetates with High Substitution 1" 81 (6): 735–40.

Yadav, A Ramesh, S Mahadevamma, R N Tharanathan, dan R S Ramteke. 2007. "Characteristics of Acetylated dan Enzyme-Modified Potato and Sweet Potato Flours." *Food Chemistry* 103 (4): 1119–26.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.012>.

Yadav, Dev Kumar, dan Prakash Eknatharao Patki. 2014. "Effect of Acetyl Esterification on Physicochemical Properties of Chick Pea (*Cicer Arietinum* L.) Starch." *Journal of Food Science dan Technology* 52 (7): 4176–4185.
<https://doi.org/10.1007/s13197-014-1388-5>.

Yiu, P. H., S. L. Loh, A. Rajan, S. C. Wong, dan C. F. J. Bong. 2008. "Physicochemical Properties of Sago Starch Modified by Acid Treatment in Alcohol." *American Journal of Applied Science* 5 (4): 307–11.

Yoo, Byoungseung, dan Hye-lin Lee. 2011. "Physical Properties of Acetylated Sweet Potato Starches as Affected by Degree of Substitution." *Journal of the Korean Society of Food Science* 40 (7): 1048–52.
<https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.7.1048>.

Zaidul, I. S.M., N. A.Nik Norulaini, A. K.Mohd Omar, H. Yamauchi, dan T. Noda. 2007. "RVA Analysis of Mixtures of Wheat Flour dan Potato, Sweet Potato, Yam, and Cassava Starches." *Carbohydrate Polymers* 69 (4): 784–91.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.02.021>.

Zhang, Bin, Nichola Selway, Kinnari J. Shelat, Sushil Dhital, Jason R. Stokes, dan Michael J. Gidley. 2017. "Tribology of Swollen Starch Granule Suspensions from Maize and Potato." *Carbohydrate Polymers* 155: 128–35.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.064>.

Zhao, Jianwei, Henk A Schols, Zhenghong Chen, Zhengyu Jin, Piet Buwalda, dan Harry Gruppen. 2012. "Substituent Distribution within Cross-Linked and Hydroxypropylated Sweet Potato Starch dan Potato Starch." *Food Chemistry* 133 (4): 1333–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.021>.

Zobel, H. F., Argo, dan Illinois. 1988. "Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review." *Starch/Stärke* 40 (2): 44–50.

Zobel, H F, S N Young, dan L A Rocca. 1988. "Starch Gelatinization: An X-Ray Diffraction Study." *Cereal Chemistry* 65 (6): 443–46.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Prosedur analisis

1. Pembuatan pati

Ubi jalar segar

↓
Dicuci

↓
Dikupas

↓
Dipotong

↓
Dicelupkan air dingin

↓
Diblender

↓
Disaring kain

↓
Difilter 3x

↓
Didiamkan 1 malam agar mengendap

↓
Residu dicuci air (rasio 1:3 v/v)

↓
Diendapkan 3 jam

↓
Dikeringkan 35°C

↓
Diayak

↓
Pati ubi jalar

Takeda, Y., Suzuki, A., Hizukuri, S., Kagoshima. 1988. Influence of Steeping Conditions for Kernels on Some Properties of Corn Starch. starch/starke 40 (1988) Nr. 4, S. 132-135

Senanayake, S., Gunaratne, A., Ranaweera, K., Bamunuarachci, A. 2014. Effect of heat-moisture treatment on digestibility of different cultivars of sweet potato (Ipomea batatas (L.) Lam) starch. Food science & nutrition. doi: 10.1002/fsn3.115

2. Warna (Derajat kecerahan)

Metode:

- 1) Tempatkan sampel dalam wadah plastik bening.
- 2) Tempelkan colour reader pada permukaan sampel.
- 3) Atur tombol pembacaan L*, a*, b* lalu tekan tombol target
- 4) Catat hasil pembacaan

5) Dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Derajat Kecerahan} = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{1/2}$$

Thao, H dan Noomhorm, A. 2011. Physiochemical Properties of Sweet Potato and Mung Bean Starch and Their Blends for Noodle Production. *Thao and Noomhorm J Food Process Technol* 2011, 2:1. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000105>

3. Analisis kadar air

Metode:

- 1) Letakkan cawan petri di oven 105°C selama 3 jam dan dipindahkan ke desikator hingga dingin, ditimbang
- 2) Sebanyak 3 g sampel diletakkan pada petri dan diratakan
- 3) Letakkan petri di oven, keringkan suhu 105°C selama 3 jam
- 4) Setelah kering, dipindahkan ke desikator. Sampel ditimbang ulang

Perhitungan

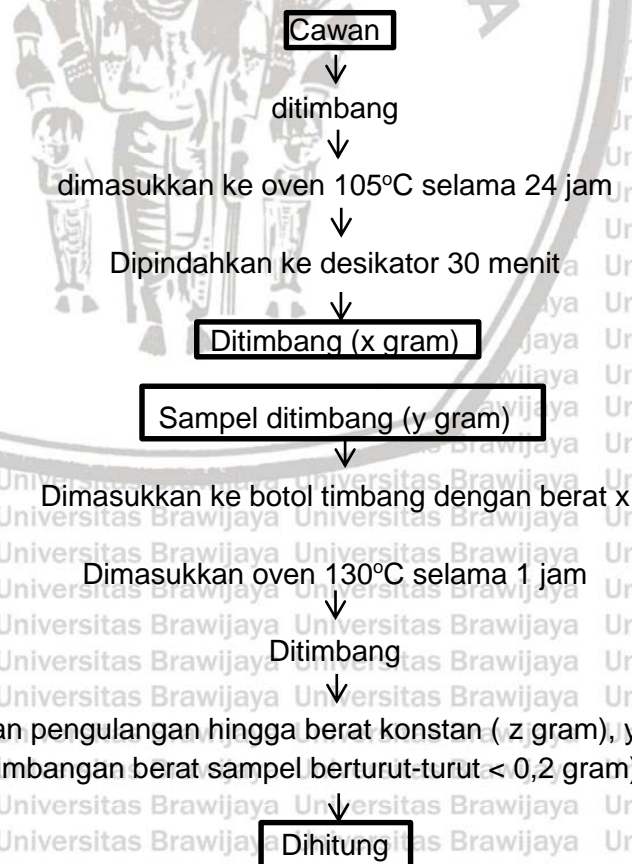
$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{W1}$$

Keterangan:

W1 =Berat (g) sampel sebelum pengeringan

W2=Berat (g) sampel setelah pengeringan

Diagram alir:



AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists Official methods of analysis, 11th edition. Washington, D. C., 2000. (130°C, 1 jam)

Shreve B, Thiex N, Wolf M. 2006. NFTA Reference Methods. National Forage Testing Association; Omaha, NE, USA: 2006. National Forage Testing Association Reference Method: Dry Matter by Oven Drying (105°C, 3 jam)

4. Analisis kadar abu

Metode:

- 1) Cawan pengabuan dikeringkan oven 105oC selama 3 jam hingga berat konstan, didinginkan di desikator
- 2) Sebanyak 3 gram sampel dimasukkan cawan, siarangkan di tanur 600oC selama 6-7 jam, didinginkan di desikator
- 3) Ditimbang hingga berat konstan

Perhitungan:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{W1}$$

Keterangan

W1 =Berat (g) sampel sebelum pengabuan

W2=Berat (g) sampel setelah pengabuan

A.O.A.C. 2006. Official methods of analysis Proximate Analysis and Calculations Ash Determination (Ash) Flour - item 49. Association of Analytical Communities, Gaithersburg, MD, 17th edition, Reference data: Method 923.03 (32.1.05 or 14.006); NFNAP; MIN; ASH.

Diagram alir:



5. Derajat keasaman

Metode:

- 1) Sebanyak 10 gram sampel disuspensikan 100 ml air distilasi yang telah dipanaskan
- 2) Setelah dingin, bubur dihomogenkan
- 3) pH meter dikalibrasi dengan buffer pH 4 dan pH 7
- 4) Kemudian probe dibilas akuades dan dikeringkan tisu
- 5) Dilakukan pengukuran pH

Angulo-Bejarano, P., Verdugo-Montoya, Nadia., Cuevas-Rodriguez, E., Milan-Carrillo, J., Escobedo, R., Lopez-Valenzuela, J., Garzon-Tiznado, J., Reyes-Moreno, C. 2008. Tempeh flour from chickpea (*Cicer arietinum* L.) nutritional and physicochemical properties. *Food Chemistry* 106 (2008) 106–112

6. Kadar amilosa dan amilopektin

Pembuatan larutan iod

Sebanyak 1 gram iodin dan 10 gram KI ditimbang dan ditempatkan di labu ukur 500 ml dan ditambahkan akuades hingga volume 500 ml

Pembuatan kurva standar

- 1) Standar amilosa ditimbang sebanyak 40 mg dan dimasukkan ke labu ukur 100 ml
- 2) Ditambahkan 1 ml etanol 95% dan 9 ml NaOH 1 N
- 3) Larutan dibiarkan 23 jam pada suhu kamar atau dipanaskan dalam penangas air suhu 100°C selama 10 menit, didinginkan
- 4) Larutan dipipet ke labu ukur 100 ml dan ditambahkan 1 ml CH₃COOH 1 N sebanyak pengenceran (Tabel di bawah). Kemudian masing-masing tabung ditambahkan 2 ml larutan iod 2% dan ditempatkan dengan akuades hingga batas 100 ml

Larutan (ml)	Konsentrasi (ppm)	Abs	Abs 1 ppm
0,5	2,0	a	a/2
1,0	4,0	b	b/4
1,5	6,0	c	c/6
2,0	8,0	d	d/8
3,0	12,0	e	e/12
4,0	16,0	f	f/16

- 5) Absorbansi diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm dengan rumus:

$$\text{Abs rata - rata 1 ppm} = \frac{a}{2} + \frac{b}{4} + \frac{c}{6} + \frac{d}{8} + \frac{e}{12} + \frac{f}{16}$$

Pengukuran kadar amilosa

Metode:

- 1) Sebanyak 100 mg sampel dimasukkan labu ukur 100 ml

- 2) Ditambahkan 1 ml etanol 95% dan 9 ml NaOH 1 N
- 3) Larutan dibiarkan 23 jam pada suhu kamar atau dipanaskan dalam penangas air suhu 100°C selama 10 menit, didinginkan
- 4) Diencerkan dengan air suling menjadi 100 ml, dipipet 5 ml, dimasukkan labu ukur 100 ml yang berisi 60 ml air
- 5) Ditambahkan 1 ml ditambahkan 1 ml CH₃COOH 1 N dan 2 ml larutan iod 2% kemudian diencerkan hingga volume 100 ml. Larutan dikocok dan didiamkan 20 menit.
- 6) Absorbansi diukur dengan panjang gelombang 620 nm
- 7) Kadar amilosa diukur dengan rumus:

$$\text{Kadar amilosa (\%)} = \frac{A_{620} \times f.k \times 100 \times 100\%}{100 - k.a}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor konversi} &= \frac{1}{\text{abs } 1 \text{ ppm}} \times \frac{1.000 \times 20}{1.000.000} \\ &= \frac{1}{\text{abs } 1 \text{ ppm} \times 50} \end{aligned}$$

Keterangan:

- A₆₂₀ : Abs contoh
 K.a : Kadar air
 20 dan 1000 : Faktor pengenceran
 f.k : Faktor konversi

Pati terdiri dari amilosa dan amilopektin, oleh karena itu kadar amilopektin merupakan selisih dari kadar pati dengan kadar amilosa. Berikut merupakan rumus dari analisa kadar amilopektin:

$$\text{Kadar amilopektin (\%)} = \text{Kadar Pati (\%)} - \text{kadar amilosa (\%)}$$

- REF : Juliano, B. 1971. A simplified assay for mixed rice amylose. Cereal Science Today 16: 334-360
 Aliawati, G. 2003. Teknik Analisis Kadar Amilosa dalam Beras. Buletin Teknik Pertanian Vol. 8 No. 2

7. Kadar pati (hidrolisis asam)

- 1) Ditimbang sampel sebanyak 2,5 gr
- 2) Dimasukkan sampel ke dalam erlenmeyer 250 ml
- 3) Ditambahkan etanol 80% sebanyak 50 ml
- 4) Dihomogenkan menggunakan sheaker selama 1 jam
- 5) Disaring menggunakan kertas saring, hingga didapatkan filtrat dan residu
- 6) Residu dicuci menggunakan petrolium eter sebanyak 2 ml, supaya terbebas dari komponen lemak
- 7) Residu dicuci kembali menggunakan alkohol 10% sebanyak 10 ml, supaya terbebas dari karbohidrat terlarut
- 8) Residu dipindahkan ke dalam erlenmeyer 250 ml melalui pencucian dengan aquades sebanyak 200 ml
- 9) Ditambahkan HCL 25% sebanyak 20 ml
- 10) Dipanaskan menggunakan reflux selama 2,5 jam
- 11) Erlenmeyer berisi larutan direndam supaya dingin
- 12) Dinetralkan dengan NaOH 45% sebanyak 12 ml

- 13) Larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 500 ml untuk diencerkan dengan aquades hingga tanda batas
- 14) Disaring menggunakan pompa vakum
- 15) Filtrat diambil sebanyak 1 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 10 ml, lalu diencerkan dengan aquades hingga tanda batas
- 16) Ditambahkan reagen nelson sebanyak 1 ml, lalu di vortex supaya homogen
- 17) Dipanaskan dalam air mendidih selama 20 menit, lalu didinginkan
- 18) Ditambahkan reagen arsenomolibdat sebanyak 1 ml
- 19) Ditambahkan aquades 10 ml, kemudian di vortex hingga homogen
- 20) Diukur nilai absorbansi menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm

$$\text{Kadar amilosa (\%)} = \frac{\text{Konsentrasi amilosa}}{\text{berat awal sampel (g)} \times 1000} \times fp \times 100\%$$

8. Karakteristik daya kembang dan kelarutan

Metode:

- 1) Pati (1%) sebanyak 0,1 g ditambahkan 10 ml akuades dipanaskan pada 90°C selama 30 menit dengan pengadukan dalam waterbath
- 2) Dispersi disentrifus 3200rpm selama 10 menit
- 3) Supernatan dipisahkan dan sedimen pati ditimbang
- 4) Aliquot supernatan diambil dan diletakkan di petri dish dan dievaporasi 24 jam suhu 110°C kemudian ditimbang. Residu diperoleh setelah pengeringan supernatan merepresentasikan jumlah pati yang larut di air. Hasilnya dihitung sebagai

Perhitungan:

$$\text{Swelling power (\%)}^n = \frac{W1}{W2}$$

Keterangan:

W1 : Berat pasta sedimen (g)

W2 : Berat sampel (g)

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{W1}{W2} \times 2 \times 100\%$$

Keterangan:

W1 : Berat pati larut air (g)

W2 : Berat sampel (g)

REF: Leach *et al.* (1959) dalam Kaur *et al.* (2011)

Leach HW, Mc Cowen LD, Schoch TJ (1959) Structure of the starch granule. I.

Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem* 36:534–544

9. Kapasitas pengikatan air (WBC)

Metode:

- 1) Suspensi dibuat dari 5 g (1) pati dalam 75 (15) ml air distilasi dan diaduk selama 1 jam di shaker
- 2) Suspensi disentrifus 3000 rpm selama 10 menit dan kelebihan air dikeringkan dan ditimbang
- 3) Kapasitas pengikatan air dihitung

Perhitungan:

$$\text{Water binding capacity \%} = \frac{W1 \times 100}{W2}$$

Keterangan:

W1 :Berat residu pati (g)

W2 :Berat sampel (g)

Medcalf, D. G., & Gilles, K. A. (1965). Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chemistry*, 42, 558–568.



Lampiran 2 Hasil respon berdasarkan penelitian

1. Analisis pati ubi jalar

Parameter	Pati Ubi Jalar Putih	Literatur
Kadar Air (%)	9,41±0,1	8,0-12,4 ^a
Kadar Abu (%)	0,58±0,02	0,1-0,5 ^a
Kadar Amilosa (%)	37,81±0,11	12,8-21,3 ^a ; 34,71-39,00 ^b
Kadar Amilopektin (%)	51,29±1,73	79,0-87,2 ^a ; 54,06-57,76 ^b
Kadar Pati (%)	93,92±1,60	89,76-94,56 ^b
Derajat Kecerahan	85,79±0,03	73,86-83,27 ^c
pH	5,9±0,00	4,5-6,5 ^d
Kapasitas pengikatan air (%)	76,07±0,66	78,1±2,66 ^e
Daya kembang (g/g)	16,26±0,52	7,8-27,7 ^a
Kelarutan (%)	1,54±0,01	1,5-8,7 ^a

Keterangan:^aAina *et al.* 2012, ^bGinting *et al.* 2005, ^cMuhandri *et al.* 2015

^dWidaningrum, Yuli, and Munarso 2003, ^eM. Kaur *et al.* 2011

2. Analisis pati kentang

Parameter	Pati Kentang	Literatur
Kadar Air (%)	15,72±0,04	15,6 ^a
Kadar Abu (%)	0,26±0,01	0,31 ^b
Kadar Amilosa (%)	50,20±0,12	52,2 ^c
Kadar Amilopektin (%)	40,49±0,40	47,8 ^c
Kadar Pati (%)	90,68±0,53	81,87-82,09 ^d
Derajat Kecerahan	92,66±0,35	82,68-83,08 ^e ; Min 90 ^f
pH	6,2±0,0	4,5-6,5 ^f
Kapasitas pengikatan air (%)	89,91±0,43	91,6 ^g
Daya kembang (g/g)	33,49±1,23	28,0-31,4 ^h
Kelarutan (%)	5,87±0,14	3,2-6,1 ^h

Keterangan:^aZaidul *et al.* 2007, ^bWootton and Bamunuarachchi 1978, ^cBoediono 2012, ^dMartunis 2012, ^eSari, Nurhayati, and Djumarti 2013, ^fWidaningrum, Yuli, and Munarso 2003, ^gN. Singh, Chawla, and Singh 2004, ^hL. Kaur, Singh, and Singh 2004

3. Analisis pati asetilasi

Parameter	Pati Alami	Pati Asetilasi	Literatur
Kadar Air (%)	9,41±0,1	10,22±0,4	8,7-11,9 ^a
Kadar Abu (%)	0,58±0,02	0,50±0,02	0,40-0,77 ^a
Kadar Amilosa (%)	37,81±0,11	41,48±0,80	20,30-26,68 ^a
Kadar Amilopektin (%)	51,29±1,73	58,53±0,80	73,32-79,7 ^a
Kadar Pati (%)	93,92±1,60	95,01±0,49	87,23-87,90 ^a
Derajat Kecerahan	85,79±0,03	87,31±0,01	93,41-95,45 ^a ; 85,36 ^b
pH	5,9±0,00	5,2±0,00	7,05±0,13 ^c
Kapasitas pengikatan air (%)	76,07±0,66	90,10±0,44	77,00-90,30 ^a
Daya kembang (g/g)	16,26±0,52	32,29±1,69	30,20 ^d
Kelarutan (%)	1,54±0,01	5,06±0,16	4,86-7,50 ^a

Keterangan:^aDas et al., 2010, ^bBolade & Oni, 2015, ^cChibuzo, 2012, ^dChen, 2003

4. Analisis t-test

Pati Ubi Jalar vs Pati Kentang

Kadar Air

Paired T-Test and CI: UJ, K

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	9.4100	0.1114	0.0643
K	3	15.7300	0.0346	0.0200
Difference	3	-6.3200	0.1114	0.0643

95% CI for mean difference: (-6.5966, -6.0434)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -98.30 P-Value = 0.000

Kadar Abu

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	0.5733	0.0208	0.0120
K	3	0.2567	0.0115	0.0067
Difference	3	0.3167	0.0208	0.0120

95% CI for mean difference: (0.2650, 0.3684)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 26.35 P-Value = 0.001



Kadar Amilosa

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	41.013	1.322	0.763
K	3	50.230	0.104	0.060
Difference	3	-9.217	1.273	0.735

95% CI for mean difference: (-12.380, -6.053)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -12.54 P-Value = 0.006

Kadar Amilopektin

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	51.693	1.415	0.817
K	3	40.580	0.329	0.190
Difference	3	11.113	1.085	0.627

95% CI for mean difference: (8.417, 13.810)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 17.73 P-Value = 0.003

Kadar Pati

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	94.297	1.305	0.753
K	3	90.810	0.433	0.250
Difference	3	3.487	0.872	0.503

95% CI for mean difference: (1.321, 5.652)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 6.93 P-Value = 0.020

Derajat Kecerahan

Paired T-Test and CI: UJ, K

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	5	85.790	0.037	0.016
K	5	92.666	0.345	0.154
Difference	5	-6.876	0.359	0.161

95% CI for mean difference: (-7.322, -6.430)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -42.83 P-Value = 0.000

pH

Paired T-Test and CI: UJ, K

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	5.900	0.000	0.000
K	3	6.200	0.000	0.000
Difference	3	-0.3000	0.0000	0.0000

95% CI for mean difference: (-0.3000, -0.3000)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = * P-Value = *

* NOTE * All values in column are identical.

Kapasitas Pengikatan Air

Paired T-Test and CI: UJ, K

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	76.073	0.656	0.379
K	3	89.910	0.430	0.248
Difference	3	-13.837	1.019	0.588

95% CI for mean difference: (-16.367, -11.306)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -23.53 P-Value = 0.002

Daya Kembang

Paired T-Test and CI: UJ, K

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	16.257	0.518	0.299
K	3	33.493	0.409	0.236
Difference	3	-17.237	0.365	0.211

95% CI for mean difference: (-18.144, -16.329)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -81.73 P-Value = 0.000

Kelarutan

Paired T-Test and CI: UJ, K

Paired T for UJ - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	4	1.5400	0.0082	0.0041
K	4	5.8675	0.1379	0.0690
Difference	4	-4.3275	0.1315	0.0657

95% CI for mean difference: (-4.5367, -4.1183)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -65.82 P-Value = 0.000

Pati Ubi Jalar vs Pati Asetilasi

Kadar Air

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	9.410	0.111	0.064
A	3	10.330	0.398	0.230
Difference	3	-0.920	0.320	0.184

95% CI for mean difference: (-1.714, -0.126)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -4.99 P-Value = 0.038

Kadar Abu

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	0.5733	0.0208	0.0120
A	3	0.4900	0.0173	0.0100
Difference	3	0.08333	0.01528	0.00882

95% CI for mean difference: (0.04539, 0.12128)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 9.45 P-Value = 0.011

Kadar Amilosa

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	41.013	1.322	0.763
A	3	41.287	0.652	0.377
Difference	3	-0.273	0.670	0.387

95% CI for mean difference: (-1.937, 1.390)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -0.71 P-Value = 0.553

Kadar Amilopektin

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	51.693	1.415	0.817
A	3	53.227	1.051	0.607
Difference	3	-1.533	1.272	0.735

95% CI for mean difference: (-4.694, 1.627)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -2.09 P-Value = 0.172

Kadar Pati

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	94.297	1.305	0.753
A	3	94.890	0.398	0.230
Difference	3	-0.593	1.703	0.983

95% CI for mean difference: (-4.824, 3.638)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -0.60 P-Value = 0.608

Derajat Kecerahan

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	5	85.7900	0.0367	0.0164
A	5	87.3120	0.0110	0.0049
Difference	5	-1.5220	0.0396	0.0177

95% CI for mean difference: (-1.5712, -1.4728)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -85.89 P-Value = 0.000

pH

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	5.900	0.000	0.000
A	3	5.200	0.000	0.000
Difference	3	0.7000	0.0000	0.0000

95% CI for mean difference: (0.7000, 0.7000)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = * P-Value = *

* NOTE * All values in column are identical.

Kapasitas Pengikatan Air

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	76.073	0.656	0.379
A	3	90.103	0.085	0.049
Difference	3	-14.030	0.571	0.330

95% CI for mean difference: (-15.449, -12.611)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -42.55 P-Value = 0.001

Daya Kembang

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	3	16.257	0.518	0.299
A	3	32.283	0.580	0.335
Difference	3	-16.027	0.623	0.360

95% CI for mean difference: (-17.575, -14.478)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -44.54 P-Value = 0.001

Kelurahan

Paired T for UJ - A

	N	Mean	StDev	SE Mean
UJ	4	1.5400	0.0082	0.0041
A	4	5.0650	0.1038	0.0519
Difference	4	-3.5250	0.1047	0.0524

95% CI for mean difference: (-3.6916, -3.3584)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -67.32 P-Value = 0.000



Pati Asetilasi vs Pati Kentang

Kadar Air

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	10.330	0.398	0.230
K	3	15.730	0.035	0.020
Difference	3	-5.400	0.417	0.241

95% CI for mean difference: (-6.435, -4.365)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -22.44 P-Value = 0.002

Kadar Abu

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	0.4900	0.0173	0.0100
K	3	0.2567	0.0115	0.0067
Difference	3	0.2333	0.0252	0.0145

95% CI for mean difference: (0.1708, 0.2958)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 16.06 P-Value = 0.004

Kadar Amilosa

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	41.287	0.652	0.377
K	3	50.230	0.104	0.060
Difference	3	-8.943	0.607	0.351

95% CI for mean difference: (-10.452, -7.435)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -25.51 P-Value = 0.002

Kadar Amilopektin

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	53.227	1.051	0.607
K	3	40.580	0.329	0.190
Difference	3	12.647	0.931	0.537

95% CI for mean difference: (10.334, 14.959)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 23.53 P-Value = 0.002



Kadar Pati

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	94.890	0.398	0.230
K	3	90.810	0.433	0.250
Difference	3	4.080	0.831	0.480

95% CI for mean difference: (2.015, 6.145)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 8.50 P-Value = 0.014

Derajat Kecerahan

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	5	87.312	0.011	0.005
K	5	92.666	0.345	0.154
Difference	5	-5.354	0.350	0.157

95% CI for mean difference: (-5.789, -4.919)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -34.19 P-Value = 0.000

pH

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	5.200	0.000	0.000
K	3	6.200	0.000	0.000
Difference	3	-1.000	0.000	0.000

95% CI for mean difference: (-1.000, -1.000)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = * P-Value = *

* NOTE * All values in column are identical.

Kapasitas Pengikatan Air

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	90.103	0.085	0.049
K	3	89.910	0.430	0.248
Difference	3	0.193	0.496	0.286

95% CI for mean difference: (-1.038, 1.425)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 0.68 P-Value = 0.569

Daya Kembang

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	32.283	0.580	0.335
K	3	33.493	0.409	0.236
Difference	3	-1.210	0.832	0.480

95% CI for mean difference: (-3.276, 0.856)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -2.52 P-Value = 0.128

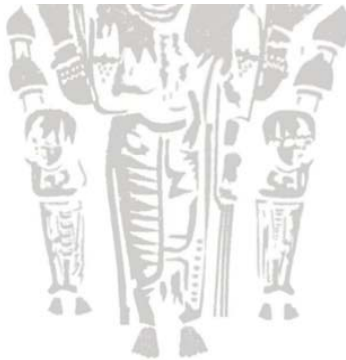
Kelarutan

Paired T for A - K

	N	Mean	StDev	SE Mean
A	3	5.107	0.195	0.113
K	3	5.830	0.142	0.082
Difference	3	-0.723	0.333	0.192

95% CI for mean difference: (-1.551, 0.104)

T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -3.76 P-Value = 0.064



Lampiran 3 Hasil analisis data menggunakan RSM *Design Expert*

1. Input Data Hasil Analisis

Std	Run	Factor 1 A:Sodium acetat... gram	Factor 2 B:Time min	Response 1 Swelling power g/g	Response 2 Solubility %	Response 3 Water binding c... %
1	13	8	5	23.7036	2.6531	88.6178
2	4	12	5	26.8598	3.21393	93.1475
3	12	8	15	36.903	4.72451	99.6421
4	11	12	15	29.23	4.30238	85.5535
5	3	7.17157	10	33.4007	3.4958	92.1484
6	5	12.8284	10	30.0575	3.65955	85.4085
7	9	10	2.92893	20.7981	2.9639	95.7327
8	10	10	17.0711	31.8216	5.14993	96.2617
9	1	10	10	34.3706	6.57701	103.807
10	6	10	10	34.3114	5.91426	101.413
11	8	10	10	33.883	6.04748	100.601
12	2	10	10	34.7612	6.29497	102.426
13	7	10	10	34.4246	6.20743	100.895

2. Respon SP

- ANOVA

ANOVA for Quadratic model

Response 1: Swelling power

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	275.65	5	55.13	861.21	< 0.0001	significant
A-Sodium acetate anhydride	10.68	1	10.68	166.90	< 0.0001	
B-Time	121.36	1	121.36	1895.87	< 0.0001	
AB	29.32	1	29.32	457.99	< 0.0001	
A ²	11.25	1	11.25	175.79	< 0.0001	
B ²	110.28	1	110.28	1722.70	< 0.0001	
Residual	0.4481	7	0.0640			
Lack of Fit	0.0535	3	0.0178	0.1806	0.9044	not significant
Pure Error	0.3946	4	0.0987			
Cor Total	276.10	12				

Factor coding is **Coded**.
Sum of squares is **Type III - Partial**

The **Model F-value** of 861.21 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that an F-value this large could occur due to noise.

P-values less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case A, B, AB, A², B² are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

- Persamaan
- a) Kode

Final Equation in Terms of Coded Factors

Swelling power	=	
		+34.35
		-1.16 * A
		+3.89 * B
		-2.71 * AB
		-1.27 * A ²
		-3.98 * B ²

The equation in terms of coded factors can be used to make predictions about the response for given levels of each factor. By default, the high levels of the factors are coded as +1 and the low levels are coded as -1. The coded equation is useful for identifying the relative impact of the factors by comparing the factor coefficients.

$$SP = +34,35 - 1,16A - 3,96B - 2,71AB - 1,29A^2 - 3,92B^2$$

- b) Aktual

Final Equation in Terms of Actual Factors

Swelling power	=	
		-42.45727
		+8.48884 * Sodium acetate anhydride
		+6.67148 * Time
		-0.270730 * Sodium acetate anhydride * Time
		-0.317968 * Sodium acetate anhydride ²
		-0.159260 * Time ²

The equation in terms of actual factors can be used to make predictions about the response for given levels of each factor. Here, the levels should be specified in the original units for each factor. This equation should not be used to determine the relative impact of each factor because the coefficients are scaled to accommodate the units of each factor and the intercept is not at the center of the design space.

$$SP = -42,45727 + 8,48884SAA + 6,67148Time - 0,270730SAA * Time - 0,317968SAA^2 - 0,159260Time^2$$

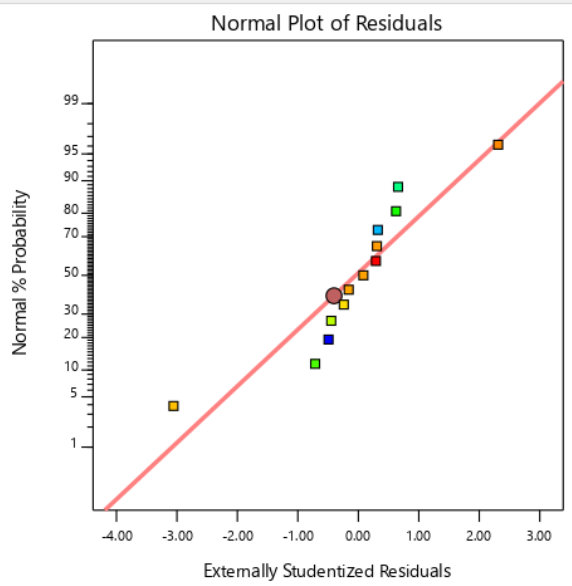
Data Diagnostik

Normal Plot

Design-Expert® Software

Swelling power

Color points by value of Swelling power:
20.7981 36.903

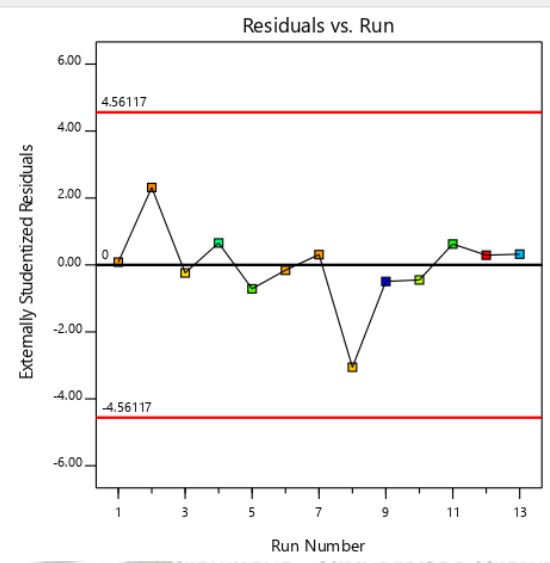


Resid. vs. Pred. Resid. vs. Run Resid. vs. Factor

Design-Expert® Software

Swelling power

Color points by value of Swelling power:
20.7981 36.903



3. Respon S
ANOVA

ANOVA for Quadratic model

Response 2: Solubility

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	23.66	5	4.73	120.43	< 0.0001	significant
A-Sodium acetate anhydride	0.0171	1	0.0171	0.4362	0.5301	
B-Time	4.88	1	4.88	124.32	< 0.0001	
AB	0.2416	1	0.2416	6.15	0.0422	
A ²	12.47	1	12.47	317.30	< 0.0001	
B ²	8.40	1	8.40	213.88	< 0.0001	
Residual	0.2750	7	0.0393			
Lack of Fit	0.0193	3	0.0064	0.1004	0.9556	not significant
Pure Error	0.2558	4	0.0639			
Cor Total	23.93	12				

Factor coding is Coded.
Sum of squares is Type III - Partial

The **Model F-value** of 120.43 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that an F-value this large could occur due to noise.

P-values less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case B, AB, A², B² are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The **Lack of Fit F-value** of 0.10 implies the Lack of Fit is not significant relative to the pure error. There is a 95.56% chance that a Lack of Fit F-value this large could occur due to noise. Non-significant lack of fit is good -- we want the model to fit.

- Persamaan
- a) Kode

Final Equation in Terms of Coded Factors

Solubility	=	
+6.21		
+0.0463	* A	
+0.7814	* B	
-0.2457	* AB	
-1.34	* A ²	
-1.10	* B ²	

The equation in terms of coded factors can be used to make predictions about the response for given levels of each factor. By default, the high levels of the factors are coded as +1 and the low levels are coded as -1. The coded equation is useful for identifying the relative impact of the factors by comparing the factor coefficients.

$$S = 6,21 + 0,0463A + 0,7814B - 0,2457AB - 1,34A^2 - 1,10B^2$$

- b) Aktual

Final Equation in Terms of Actual Factors

Solubility	=	
-35.90819		
+6.96254	* Sodium acetate anhydride	
+1.28132	* Time	
-0.024574	* Sodium acetate anhydride * Time	
-0.334683	* Sodium acetate anhydride ²	
-0.043964	* Time ²	

The equation in terms of actual factors can be used to make predictions about the response for given levels of each factor. Here, the levels should be specified in the original units for each factor. This equation should not be used to determine the relative impact of each factor because the coefficients are scaled to accommodate the units of each factor and the intercept is not at the center of the design space.

$$S = -35,90819 + 6,96254SAA + 1,28132Time - 0,024574SAA * Timr - 0,334683SAA^2 - 0,043964^2$$

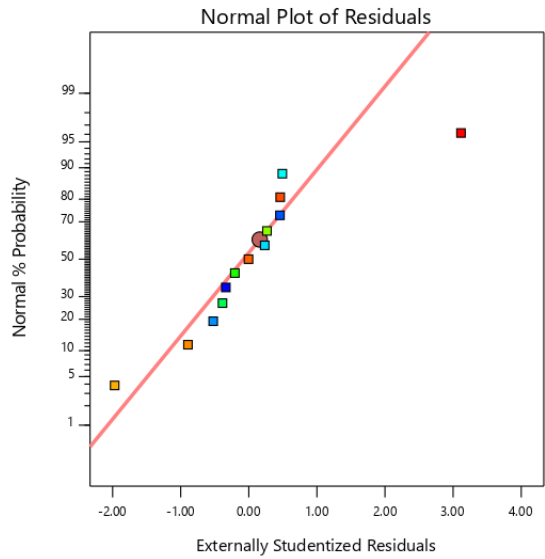
Data Diagnostik

Normal Plot

Design-Expert® Software

Solubility

Color points by value of Solubility:
2.6531 6.57701

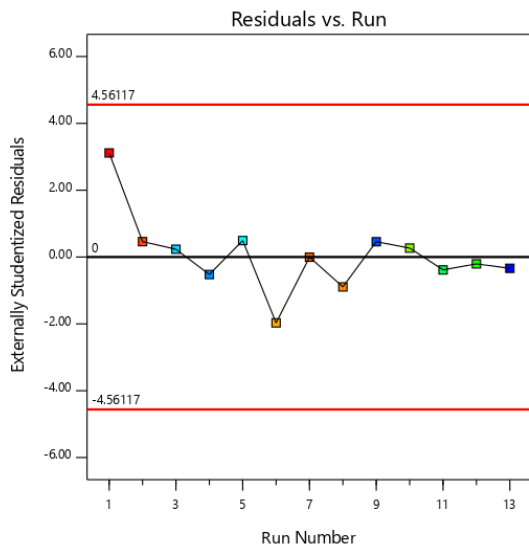


Resid. vs. Pred. Resid. vs. Run Resid. vs. Factor

Design-Expert® Software

Solubility

Color points by value of Solubility:
2.6531 6.57701



4. Respon WBC

ANOVA

Analysis of Variance + Fit Statistics + Model Comparison Statistics B Coefficient

ANOVA for Quadratic model

Response 3: Water binding capacity

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	479.87	5	95.97	78.47	< 0.0001	significant
A-Sodium acetate anhydride	45.56	1	45.56	37.25	0.0005	
B-Time	2.18	1	2.18	1.78	0.2234	
AB	86.66	1	86.66	70.85	< 0.0001	
A ²	311.06	1	311.06	254.31	< 0.0001	
B ²	65.89	1	65.89	53.87	0.0002	
Residual	8.56	7	1.22			
Lack of Fit	1.74	3	0.5794	0.3396	0.7992	not significant
Pure Error	6.82	4	1.71			
Cor Total	488.43	12				

Factor coding is **Coded**.
Sum of squares is **Type III - Partial**

The **Model F-value** of 78.47 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that an F-value this large could occur due to noise.

P-values less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case A, AB, A², B² are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The **Lack of Fit F-value** of 0.34 implies the Lack of Fit is not significant relative to the pure error. There is a 79.92% chance that a Lack of Fit F-value this large could occur due to noise. Non-significant lack of fit is good -- we want the model to fit.

- Persamaan
- a) Kode

Final Equation in Terms of Coded Factors

Water binding capacity	=
+101.83	
-2.39 * A	
+0.5223 * B	
-4.65 * AB	
-6.69 * A ²	
-3.08 * B ²	

The equation in terms of coded factors can be used to make predictions about the response for given levels of each factor. By default, the high levels of the factors are coded as +1 and the low levels are coded as -1. The coded equation is useful for identifying the relative impact of the factors by comparing the factor coefficients.

$$WBC = +101,83 - 2,39A + 0,5223B - 4,65AB - 6,69A^2 - 3,08B^2$$

- b) Aktual

Final Equation in Terms of Actual Factors

Water binding capacity	=
-113.31205	
+36.89575 * Sodium acetate anhydride	
+7.22105 * Time	
-0.465459 * Sodium acetate anhydride * Time	
-1.67172 * Sodium acetate anhydride ²	
-0.123100 * Time ²	

The equation in terms of actual factors can be used to make predictions about the response for given levels of each factor. Here, the levels should be specified in the original units for each factor. This equation should not be used to determine the relative impact of each factor because the coefficients are scaled to accommodate the units of each factor and the intercept is not at the center of the design space.

$$WBC = -113,31205 + 36,89575SAA + 7,22105Time - 0,465459SAA * Time - 1,67172SAA^2 - 0,123100Time^2$$

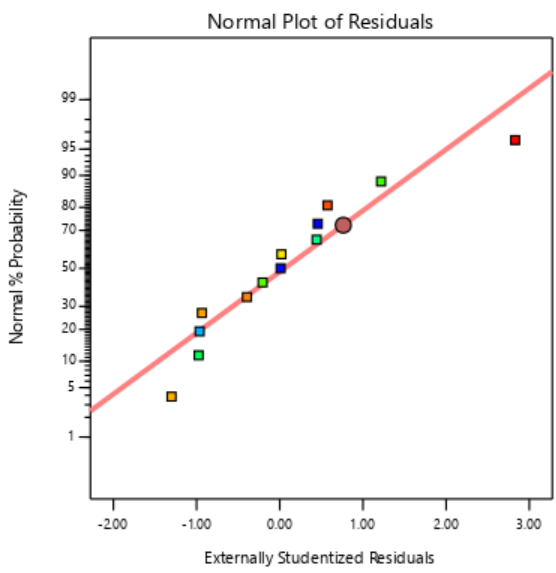
Data Diagnostik

Normal Plot

Design-Expert® Software

Water binding capacity

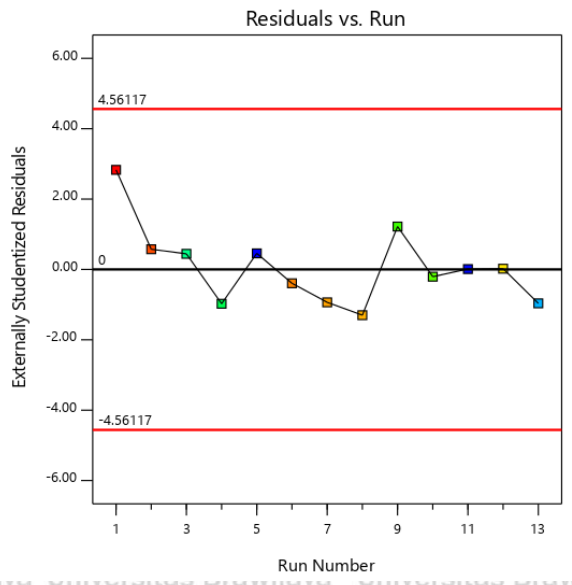
Color points by value of Water binding capacity:
85.4085 103.807



Design-Expert® Software

Water binding capacity

Color points by value of Water binding capacity:
85.4085 103.807



Lampiran 3.5 Optimization

Criteria

Criteria Solutions Graphs

A: Sodium acetate anhydride
 B: Time
 Swelling power
 Solubility
 Water binding capacity

A: Sodium acetate anhydride

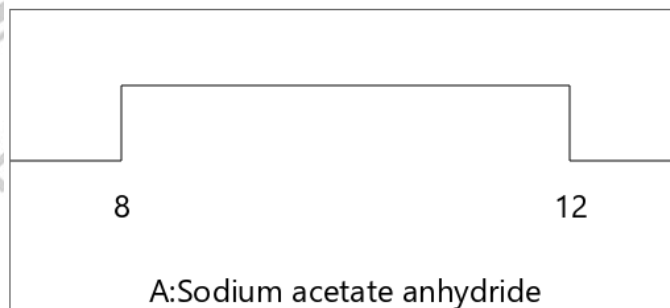
Goal: in range

Lower Upper

Limits: 8 12

Weights: 1 1

Importance: +++



Criteria Solutions Graphs

A: Sodium acetate anhydride
 B: Time
 Swelling power
 Solubility
 Water binding capacity

B: Time

Goal: in range

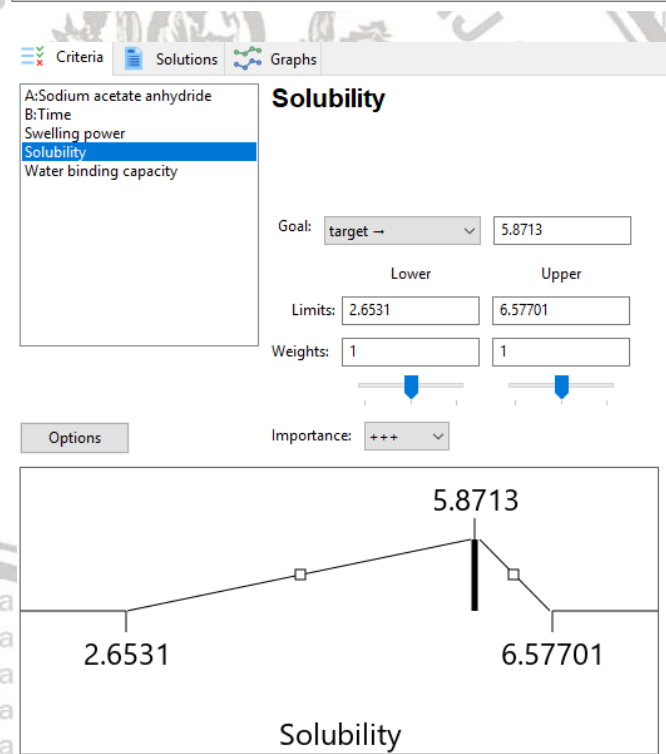
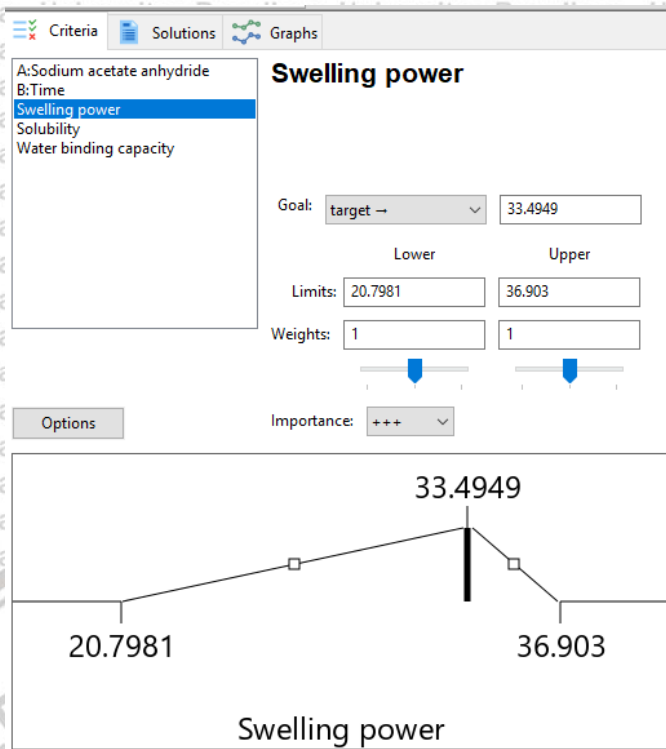
Lower Upper

Limits: 5 15

Weights: 1 1

Importance: +++





Criteria Solutions Graphs

A: Sodium acetate anhydride
B: Time
Swelling power
Solubility
Water binding capacity

Water binding capacity

Goal: target → 89.9136

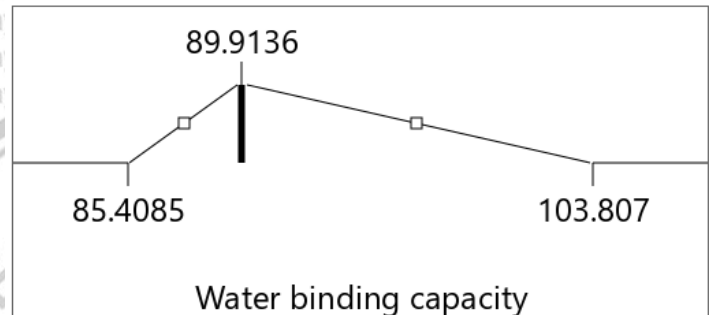
Lower Upper

Limits: 85.4085 103.807

Weights: 1 1

Importance: +++

Options



Solution

Hasil range optimasi :

- **SP 20,7981-36,903 (TARGET 33,4949)**
- **S 2,6531-6,57701 (TARGET 5,8713)**
- **WBC 85,4085-103,807 (TARGET 89,9136)**

The screenshot displays a software interface with two main sections: 'Constraints' and 'Solutions'.

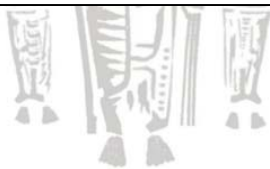
Constraints Table:

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Sodium acetate anhydride	is in range	8	12	1	1	3
B:Time	is in range	5	15	1	1	3
Swelling power	is target = 33,4949	20,7981	36,903	1	1	3
Solubility	is target = 5,8713	2,6531	6,57701	1	1	3
Water binding capacity	is target = 89,9136	85,4085	103,807	1	1	3

Solutions Table:

3 Solutions found

Number	Sodium acetate anhydride	Time	Swelling power	Solubility	Water binding capacity	Desirability	
1	11,699	13,063	31,933	5,219	91,715	0,847	Selected
2	8,000	9,474	33,495	4,703	96,949	0,680	
3	8,000	9,348	33,305	4,671	96,800	0,678	



Model Graph

Criteria Solutions Graphs

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual

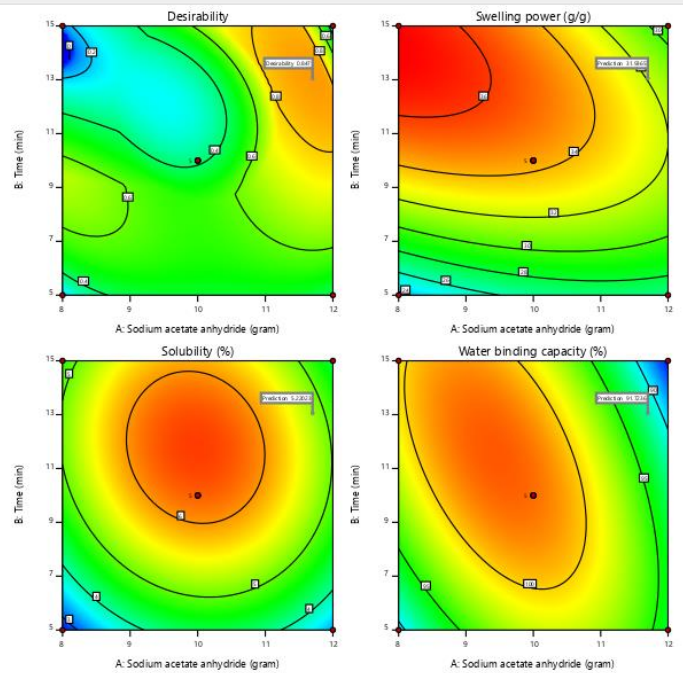
All Responses

● Design Points

0.000 1.000

X1 = A: Sodium acetate anhydride

X2 = B: Time



6. Verifikasi Uji Paired t-test Respon

Hasil Uji Paired t-test

1. SP

Optimasi	Validasi
31,933	33,5818
33,495	31,7686
33,305	32,6956

Paired T-Test and CI: Prediksi, Validasi

Paired T for Prediksi - Validasi

	N	Mean	StDev	SE Mean
Prediksi	3	32.911	0.852	0.492
Validasi	3	32.682	0.907	0.523
Difference	3	0.229	1.719	0.993

95% CI for mean difference: (-4.042, 4.500)
 T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = 0.23 P-Value = 0.839

Kesimpulan:

Hasil uji t test (P value 0,06) menyatakan validasi dan optimasi tidak berbeda nyata (P>0,05)

2. S

Optimasi	Validasi
5,219	5,5607
4,703	4,5587
4,671	5.1771

Paired T for Prediksi - Validasi

	N	Mean	StDev	SE Mean
Prediksi	3	4.864	0.308	0.178
Validasi	3	5.099	0.506	0.292
Difference	3	-0.234	0.338	0.195

95% CI for mean difference: (-1.075, 0.606)
 T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -1.20 P-Value = 0.353

Kesimpulan:

Hasil uji t test (P value 0,531) menyatakan validasi dan optimasi tidak berbeda nyata (P>0,05)

3. WBC

Optimasi	Validasi
91,715	95,5397
96,949	97,5879
96,8	98,123

Paired T-Test and CI: Optimasi; Validasi

Paired T for Optimasi - Validasi

	N	Mean	StDev	SE Mean
Optimasi	3	95,15	2,98	1,72
Validasi	3	97,08	1,36	0,79
Difference	3	-1,929	1,677	0,968

95% CI for mean difference: (-6,095; 2,237)

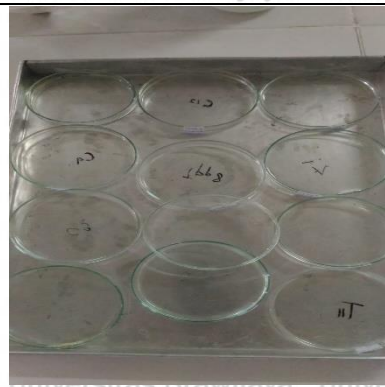
T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -1,99 P-Value = 0,185

Kesimpulan:

Hasil uji t test (P value 0,185) menyatakan validasi dan optimasi tidak berbeda nyata (P>0,05)



Lampiran 4 Dokumentasi hasil penelitian



Analisis WBC



Analisis S



Analisis kadar abu



Analisis WBC



Pati yang disimpan



Pengeringan pati



Ubi Sembowo



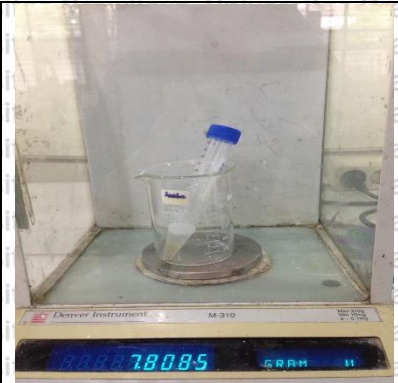
Proses asetilasi pati



Proses penimbangan pati



Penghomogenan pati



Analisis SP



Pendinginan tube



Pengendapan pati



Pengarangan



Pengeringan pati



Pengayakan pati



Proses pengeringan pasta



Analisis SP

The Influence of Sodium Acetate Anhydrous in Swelling Power, Solubility, and Water Binding Capacity of Acetylated Sweet Potato Starch

Grace Maria Ulfa^{1,*}, Widya Dwi Rukmi Putri^{1,3)} and Simon Bambang Widjanarko^{1,4)}

¹Food Science and Technology Department, Universitas Brawijaya, Indonesia

*Corresponding author: gracemariulfa@gmail.com

³⁾widya2putri@ub.ac.id

⁴⁾simonbw@ub.ac.id

Abstract. Sodium acetate anhydrous (SAA) added into sweet potato starch to prepare acetylated starch at dissimilar levels (2-12 g), were evaluated. These main parameters that were compared were swelling power (SP), solubility (S), and water binding capacity (WBC) of starches. The SP and S of sweet potato starch ranged from 16.26-30.41g/g and 1.58-5.24%, respectively. Moreover, the WBC obtained are 76.07-107.50%. The acetylated starches showed higher SP, S, and WBC than native starches, and it's increase with the addition of SAA in the medium. The objective was to determine the effect of SAA addition into the medium until the higher response obtained. Overall, the best treatment found at the addition of 10 g SAA. Native and treated starches were analyzed using SEM, FTIR, and rheometer to know the flow behavior of starches. The diversity obtained in the starches' properties was important for some industrial requires.

INTRODUCTION

Starch is a polysaccharide located in granules existing inside the cells and can be used in much industrial application such as film former, thickener, gelling agent, texturizer, water binder, adhesive, etc due to its gelatinization properties [1]. One of the biggest commodities crop plant found in Indonesia is the sweet potato. According to FAOSTAT (2017), sweet potato production's trend in Indonesia increases from 101,813,946 tonnes in 2012 up to 105,190,500 tonnes in 2016 with the total harvest area, yield, and production of sweet potato in Indonesia in 2015 are 143,125 ha, 160,533 kg/ha, and 2,297,634 ton, respectively. These facts make Indonesia as one of the largest producers of it. Sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) roots and leaves are mainly used as a source of macro and micro nutrients in Indonesia, however, its usage is still lower than cassava or corn.

Heated starch in the presence of water and limited shear will swell into larger form and the leaching of amylose can occur from starch granule [2], that will happen when the gelatinization of starch onset. Swelling happens in the amorphous region, while the crystalline region do not expand during swelling and the interface's stress will increase between amorphous and crystalline region, where bonds exist between amylose in the amorphous region and amylopectin in the crystalline region [3]. After that, the crystalline region is rapidly broken and gelatinization is initiated at a certain point with the presence of water in the swelling process. The onset temperature of starch gelatinization usually occurs between 50-70 °C [4].

Instant product manufacturer often uses starch with high SP and high WBC for their product, such as bakery, frozen, canned foods, and noodle [5]. Much industrial application can use sweet potato starch, but it still has many disadvantages in their native form. Native starch has a large drawback in industrial application due to its limited properties towards heat, shear forces, and low viscosity [6-7], usually, starch modification is used to overcome that problem.

Modified starch is done with the use of chemical addition, physic, or enzymatic treatment of native starch. Acetylated starch is made by producing the ester with CH_3CO to starch at low temperature [8]. In acetylated starch, there is a conversion of acetyl groups into part of hydroxyl groups in anhydroglucose units [9]. There still many chances of studying Indonesia's sweet potato starch. The functional attributes of starch and its

**PERNYATAAN
ORISINALITAS TESIS**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah TESIS ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain dan disebutkan dalam sumber kutipan dan pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah TESIS ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia TESIS ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU NO. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, Maret 2021

Mahasiswa

Nama : Grace Maria Ulfa

NIM : 176100100111020

PS : Teknologi Hasil Pertanian

