

**PENENTUAN KOMBINASI SUHU DAN WAKTU ISOMERISASI
TERBAIK TERHADAP KARAKTERISTIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP*
(HFS) DARI PATI UBI KAYU WAXY (*Manihot esculenta* Crantz)**

(Skripsi)

Oleh

INDAH ANDRYANI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

Determination Of The Best Combination Of Temperature And Isomerization Time On The Characteristics Of High Fructose Syrup (HFS) From Waxy Cassava Starch (Manihot esculenta Crantz)

By

INDAH ANDRYANI

High fructose syrup from waxy cassava starch is an innovation in the use of waxy cassava which has a high amylopectin content and very low amylose (amylose free). This research aims to determine the best combination of temperature treatment and isomerization time for the characteristics of high fructose syrup based on waxy cassava starch. This research used a Randomized Complete Block Design (RAKL) with a combination of temperature (T) and time (I) isomerization factors and three replications. The treatment combination consists of T₁I₁ (T=55°C, I=1 hour), T₁I₂ (T=55°C, I=2 hours), T₁I₃ (T=55°C, I=3 hours), T₂I₁ (T= 60°C, I=1 hour), T₂I₂ (T=60°C, I=2 hours), T₂I₃ (T=60°C, I=3 hours), T₃I₁ (T=65°C, I=1 hour), T₃I₂ (T=65°C, I=3 hours), and T₃I₃ (T=65°C, I=3 hours). This research consisted of the process of extracting starch from waxy cassava, making high fructose syrup, and observing glucose levels, reducing sugar levels, total solids, pH, and sensory tests (color, taste, and aroma). The data obtained were analyzed using the Bartlett and Tuckey tests then followed by the ANOVA and Honestly Significant Difference (BNJ) tests. The results showed that the heating temperature treatment of 60°C and isomerization time of 3 hours produced the best high fructose syrup characteristics with a glucose content of 41.74%, reducing sugar content of 23.78%, total solids of 65.50°Brix, pH 4.35, taste score 4, 20 (sweet), aroma 4.30 (slightly aromatic of cassava), and color 4.37 (golden yellow).

Keywords : Manihot esculenta, waxy cassava, starch, high fructose syrup, glucose

ABSTRAK

PENENTUAN KOMBINASI SUHU DAN WAKTU ISOMERISASI TERBAIK TERHADAP KARAKTERISTIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP* (HFS) DARI PATI UBI KAYU *WAXY* (*Manihot esculenta* Crantz)

Oleh

INDAH ANDRYANI

High fructose syrup dari pati ubi kayu *waxy* merupakan inovasi pemanfaatan ubi kayu *waxy* yang memiliki kandungan amilopektin yang tinggi dan amilosa yang sangat rendah (*amylose free*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi perlakuan suhu dan waktu isomerisasi terbaik terhadap karakteristik *high fructose syrup* berbasis pati ubi kayu *waxy*. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan faktor kombinasi suhu (T) dan waktu (I) isomerisasi dan tiga kali ulangan. Kombinasi perlakuan terdiri dari T₁I₁ (T=55°C, I=1 jam), T₁I₂ (T=55°C, I=2 jam), T₁I₃ (T=55°C, I=3 jam), T₂I₁ (T=60°C, I=1 jam), T₂I₂ (T=60°C, I=2 jam), T₂I₃ (T=60°C, I=3 jam), T₃I₁ (T=65°C, I=1 jam), T₃I₂ (T=65°C, I=3 jam), dan T₃I₃ (T=65°C, I=3 jam). Penelitian ini terdiri dari proses ekstraksi pati dari ubi kayu *waxy*, pembuatan *high fructose syrup*, dan pengamatan kadar glukosa, kadar gula pereduksi, total padatan, pH, dan uji sensori (warna, rasa, dan aroma). Data yang diperoleh dianalisis dengan uji *Bartlett* dan *Tuckey* lalu dilanjutkan dengan uji ANOVA dan Beda Nyata Jujur (BNJ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan suhu pemanasan 60°C dan waktu isomerisasi 3 jam menghasilkan karakteristik *high fructose syrup* terbaik dengan kadar glukosa 41,74%, kadar gula pereduksi 23,78%, total padatan 65,50°Brix, pH 4,35, skor rasa 4,20 (manis), aroma 4,30 (agak beraroma singkong), dan warna 4,37 (kuning keemasan).

Kata kunci : *Manihot esculenta*, ubi kayu *waxy*, pati, *high fructose syrup*, glukosa

**PENENTUAN KOMBINASI SUHU DAN WAKTU ISOMERISASI
TERBAIK TERHADAP KARAKTERISTIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP*
(HFS) DARI PATI UBI KAYU *WAXY* (*Manihot esculenta* Crantz)**

Oleh

INDAH ANDRYANI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul : **PENENTUAN KOMBINASI SUHU DAN WAKTU ISOMERISASI TERBAIK TERHADAP KARAKTERISTIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP* (HFS) DARI PATI UBI KAYU *WAXY* (*Manihot esculenta* Crantz)**

Nama Mahasiswa : **Indah Andryani**

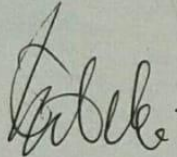
Nomor Pokok Mahasiswa : 1814051058

Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

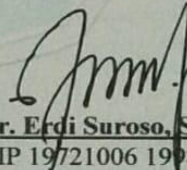
Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

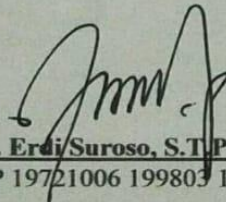


Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc.
NIP 19680409 199303 1 002



Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP 19721006 199803 1 005

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

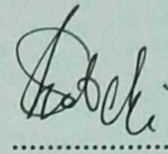


Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP 19721006 199803 1 005

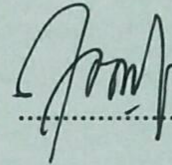
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

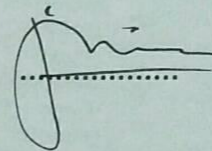
Ketua : Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc.



Sekretaris : Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.



Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Zulferiyenni, M.T.A.



2. Dekan Fakultas Pertanian



(Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.)

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 November 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Indah Andryani

NPM : 1814051058

dengan ini menyatakan bahwa apa yang ditulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 17 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan



Indah Andryani

NPM. 1814051058

RIWAYAT HIDUP

Penulis Indah Andryani, dilahirkan di Desa Lebak Danau pada tanggal 18 Januari 2001. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Sudarmono dan Ibu Suparmi, yang memiliki satu saudara kandung bernama Dini Anggraini.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 1 Jabung pada tahun 2012; pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Jabung pada tahun 2015; dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Way Jepara pada tahun 2018. Tahun 2018 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN).

Tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Putra - Putri Daerah, di Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur dengan tema “Pengabdian Putra-Putri Daerah terhadap Peningkatan Aspek Kehidupan”. Kemudian pada tahun yang sama 2021 penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di UMKM Vista Abadi Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung dengan judul “PROSES PRODUKSI DAN SANITASI PRODUK GULA SEMUT AREN DI UMKM VISTA ABADI PESAWARAN”.

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada manusia yang paling mulia akhlaknya Baginda Rasulullah Muhammad Shallallahu'alaihi wasallam.

Skripsi dengan judul "*PENENTUAN KOMBINASI SUHU DAN WAKTU ISOMERISASI TERBAIK TERHADAP KARAKTERISTIK HIGH FRUCTOSE SYRUP DARI PATI UBI KAYU WAXY (Manihot esculenta Crantz)*" adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknologi Hasil Pertanian di Universitas Lampung. Dalam penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dorongan baik langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan izin, bimbingan, pengawasan, nasihat dan evaluasi terhadap karya skripsi penulis;
3. Bapak Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik dan pembimbing utama yang telah memberi perhatian, bimbingan, bantuan, motivasi, dan nasihat kepada penulis selama perkuliahan dan penyusunan skripsi;

4. Ibu Ir. Zulferiyenni, M.T.A., selaku penguji yang telah memberikan masukan, pengarahan, bimbingan, motivasi dan evaluasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi selama perkuliahan;
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf administrasi dan laboratorium yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan bantuan kepada penulis selama kuliah;
6. Keluargaku tercinta, Bapak Sudarmono, Ibu Suparmi, dan adik Dini Anggraini atas doa, nasihat, motivasi yang sangat luar biasa, dan bantuan materi yang tidak akan mungkin terbalaskan;
7. Orang terdekatku Rizki dan sahabatku Ulfa, Diah, Reka, Atri dan THP angkatan 2018 atas dukungan, semangat, doa dan bantuan kepada penulis selama pengerjaan skripsi;
8. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis sangat menyadari skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan dapat memberikan manfaat bagi penulis serta pembaca.

Bandar Lampung, 17 Oktober 2023

Penulis,

Indah Andryani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Kerangka Pemikiran	3
1.4 Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Ubi Kayu <i>Waxy</i>	5
2.2 <i>High Fructose Syrup</i> (HFS)	7
2.3 Pati	10
2.4 Enzim α -Amilase	12
2.5 Enzim Glukoamilase	14
2.6 Enzim Glukoisomerase	15
2.7 Hidrolisis Pati	16
2.8 Isomerisasi Glukosa	19
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Metode Penelitian	21
3.4 Pelaksanaan Penelitian	21
3.4.1 Ekstraksi Pati Ubi Kayu <i>Waxy</i>	21

3.4.2 Pembuatan <i>High Fructose Syrup</i> (HFS)	23
3.5 Pengamatan	25
3.5.1 Kadar Glukosa	25
3.5.1.1 Pembuatan Reagen DNS	25
3.5.1.2 Pembuatan Buffer Sitrat 0,1 M	25
3.5.1.3 Pembuatan Larutan Stok Glukosa Standar	25
3.5.1.4 Pembuatan Kurva Baku Glukosa	26
3.5.1.5 Analisis Sampel	26
3.5.2 Kadar Gula Reduksi	26
3.5.3 Total Padatan	27
3.5.4 pH	27
3.5.5 Uji Sensori	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kadar Glukosa	29
4.2 Kadar Gula Pereduksi	31
4.3 Total Padatan	33
4.4 Derajat Keasaman (pH)	34
4.5 Uji Sensori	35
4.5.1 Rasa	36
4.5.2 Aroma	37
4.5.3 Warna	39
4.6 Penentuan Perlakuan Terbaik	40

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kemanisan relatif dari larutan gula dan berbagai pemanis	8
2. Kelarutan dari beberapa gula pada 50°C	8
3. Syarat mutu <i>high fructose syrup</i>	9
4. Kuesioner uji skoring <i>high fructose syrup</i>	28
5. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap kadar glukosa <i>high fructose syrup</i>	29
6. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap kadar gula <i>high fructose syrup</i>	32
7. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap total padatan <i>high fructose syrup</i> ..	33
8. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap pH <i>high fructose syrup</i>	35
9. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap rasa <i>high fructose syrup</i>	36
10. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap rasa <i>high fructose syrup</i>	36
11. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap aroma <i>high fructose syrup</i>	38
12. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap aroma <i>high fructose syrup</i>	38
13. Hasil uji lanjut BNJ 5% terhadap warna <i>high fructose syrup</i>	40
14. Rekapitulasi penentuan perlakuan terbaik pada seluruh perlakuan <i>high fructose syrup</i>	42
15. Kuesioner uji skoring <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	52
16. Data uji kadar glukosa (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> ..	52
17. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>) kadar glukosa (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	52
18. Analisis sidik ragam kadar glukosa (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	53
19. Uji BNJ terhadap interaksi TI pada kadar glukosa (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	53

20. Uji BNJ terhadap faktor T (suhu pemanasan) pada kadar glukosa (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	54
21. Uji BNJ terhadap faktor I (waktu isomerisasi) pada kadar glukosa (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	54
22. Data uji gula pereduksi (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	55
23. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>) gula pereduksi (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	55
24. Analisis sidik ragam gula pereduksi (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	56
25. Uji BNJ terhadap interaksi TI pada gula pereduksi (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	56
26. Uji BNJ terhadap faktor T (suhu pemanasan) pada gula pereduksi (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	57
27. Uji BNJ terhadap faktor I (waktu isomerisasi) pada gula pereduksi (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	57
28. Data uji total padatan (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> ...	58
29. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>) total padatan (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	58
30. Analisis sidik ragam total padatan (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	59
31. Uji BNJ terhadap interaksi TI pada total padatan (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	59
32. Uji BNJ terhadap faktor T (suhu pemanasan) pada total padatan (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	60
33. Uji BNJ terhadap faktor I (waktu isomerisasi) pada total padatan (%) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	60
34. Data uji derajat keasaman (pH) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	61
35. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>) derajat keasaman (pH) <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	61
36. Analisis sidik ragam pH <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	62

37. Uji BNJ terhadap interaksi TI pada pH <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	62
38. Uji BNJ terhadap faktor T (suhu pemanasan) pada pH <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	63
39. Uji BNJ terhadap faktor I (waktu isomerisasi) pada pH <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	63
40. Data uji rasa <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	64
41. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>) rasa <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	64
42. Analisis sidik ragam rasa <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	65
43. Uji BNJ terhadap interaksi TI pada rasa <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	65
44. Uji BNJ terhadap faktor T (suhu pemanasan) pada rasa <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	66
45. Uji BNJ terhadap faktor I (waktu isomerisasi) pada rasa <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	66
46. Data uji aroma <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	67
47. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>) aroma <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	67
48. Analisis sidik ragam aroma <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	68
49. Uji BNJ terhadap interaksi TI pada aroma <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	68
50. Uji BNJ terhadap faktor T (suhu pemanasan) pada aroma <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	69
51. Uji BNJ terhadap faktor I (waktu isomerisasi) pada aroma <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	69
52. Data uji warna <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	70
53. Uji kehomogenan (kesamaan) ragam (<i>Bartlett's test</i>) warna <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	70
54. Analisis sidik ragam warna <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i>	71

55. Uji BNJ terhadap interaksi TI pada warna <i>high fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	71
56. Uji BNJ terhadap faktor T (suhu pemanasan) pada warna <i>high</i> <i>fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	72
57. Uji BNJ terhadap faktor I (waktu isomerisasi) pada warna <i>high</i> <i>fructose syrup</i> pati ubi kayu <i>waxy</i> taraf 5%	72
58. Pemingkatan dan pemberian nilai pada parameter <i>high fructose</i> <i>syrup</i>	73
59. Penentuan perlakuan terbaik	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skrining klon ubi kayu dengan staining iodin ubi kayu <i>waxy</i> dan ubi kayu biasa	6
2. Struktur amilosa dan amilopektin	10
3. Hidrolisis pati oleh enzim α -amilase	13
4. Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa	19
5. Diagram alir ekstraksi pati ubi kayu <i>waxy</i>	22
6. Diagram alir proses pembuatan <i>high fructose syrup</i>	24
7. Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa	30
8. Proses pembuatan pati ubi kayu <i>waxy</i>	75
9. Proses pembuatan <i>high fructose syrup</i>	76
10. Proses analisis <i>high fructose syrup</i>	77

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gula merupakan salah satu bahan yang memiliki peran yang penting dalam kehidupan sehari-hari, biasanya digunakan sebagai bahan pemanis makanan atau minuman oleh masyarakat maupun dunia industri (Triyono, 2010). Permintaan gula di Indonesia oleh konsumen lebih tinggi dibandingkan dengan produksi gula nasional yang dihasilkan. Produksi gula di Indonesia pada tahun 2020 sebanyak 2,1 juta ton (BPS, 2020), sedangkan kebutuhan konsumsi gula melebihi jumlah produksi gula yang dihasilkan diperkirakan mencapai 7,2 juta ton. Tingginya kebutuhan gula nasional mendorong pemerintah untuk melakukan impor gula untuk memenuhi permintaan gula. Tercatat impor gula Indonesia terbesar berasal dari negara Thailand 2,02 juta ton, Brazil 1,54 juta ton dan Australia 1,21 juta ton (BPS, 2020). Tingginya penggunaan gula sukrosa dalam negeri mendorong pihak-pihak terkait untuk menemukan bahan pemanis pengganti sukrosa yang memiliki tingkat kemanisan sama atau bahkan lebih tinggi dibandingkan gula sukrosa. Salah satu pemanis yang dapat digunakan sebagai pengganti gula sukrosa yaitu *high fructose syrup*.

High fructose syrup merupakan salah satu jenis pemanis makanan atau minuman yang diperoleh dari hasil isomerisasi glukosa, memiliki bentuk cairan kental, tidak berbau dan tidak berwarna, serta memiliki rasa yang manis (Rahmawati, 2018). *High fructose syrup* memiliki tingkat kemanisan yang tinggi yaitu 1,4-1,8 kali lebih besar dari gula sukrosa dan 2,5 kali lebih besar dari sirup glukosa, namun memiliki indeks glikemik yang rendah, sehingga dapat digunakan sebagai pemanis untuk penderita diabetes (Richana dan Suarni, 2007). *High fructose*

syrup memiliki tingkat kelarutan yang lebih baik dibandingkan gula sukrosa, tidak mudah untuk mengkristal dan tetap berada dalam bentuk larutan (Parker *et al.*, 2010). Bahan baku pembuatan *high fructose syrup* adalah bahan pangan yang mengandung pati seperti singkong, jagung, sorgum, sagu dan beras (Kartika dkk., 2019).

Salah satu komoditas pertanian yang memiliki kandungan pati yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *high fructose syrup* yaitu ubi kayu *waxy*. Ubi kayu *waxy* merupakan salah satu varietas ubi kayu yang termasuk ke dalam ubi kayu industri, memiliki kandungan pati yang lebih tinggi (Anggraini dkk., 2021). Kandungan pati pada ubi kayu *waxy* yaitu 12,72 % lebih tinggi dibandingkan dengan varietas Huay Bong 11,91%, Manalagi 6,10%, Ketan Lokal 8,52% dan Kuning 5,72% (Anggraini dkk., 2021). Selain memiliki kandungan pati yang tinggi, ubi kayu *waxy* memiliki komponen pati yang berbeda dengan pati ubi kayu jenis lainnya yaitu memiliki kandungan amilopektin yang tinggi (*amylose free*). Proses pembuatan *high fructose syrup* dapat dilakukan dengan metode hidrolisis pati. Hidrolisis pati yang umum digunakan yaitu hidrolisis enzimatis, hidrolisis asam dan gabungan hidrolisis enzimatis dan hidrolisis asam.

Pembuatan *high fructose syrup* melalui hidrolisis pati secara enzimatis melalui beberapa tahap yaitu gelatinisasi, likuifikasi, dan sakarifikasi dan dilanjutkan proses isomerisasi (Rahmawati dan Sutrisno, 2015). Likuifikasi merupakan proses hidrolisis pati menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana seperti maltosa, glukosa, dan dekstrin dengan bantuan enzim α -amilase (Sun *et al.*, 2010). Tahap selanjutnya yaitu sakarifikasi oleh enzim glukoamilase yang akan menghidrolisis pati menjadi oligosakarida, matotriosa menjadi maltosa dan menghidrolisis maltosa menjadi glukosa, berlangsung antara 48-96 jam (Rahmawati dan Sutrisno, 2015). Isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dalam pembuatan *high fructose syrup* dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti waktu, suhu, pH, dan penggunaan katalis. Menurut Li *et al.* (2020), reaksi isomerisasi termasuk ke dalam reaksi endotermal yang dapat berjalan dengan baik pada suhu $>80^{\circ}\text{C}$ dan reaksinya bersifat *reversible*. Peningkatan suhu operasional pada

proses isomerisasi dapat meningkatkan konversi glukosa. Namun penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya penurunan kadar fruktosa yang dihasilkan karena terbentuknya produk samping (Keryanti dkk., 2022) dan merusak enzim, sedangkan penggunaan suhu operasional yang terlalu rendah dapat menurunkan aktivitas enzim (Rahmawati, 2018). Lama waktu isomerisasi juga mempengaruhi terbentuknya fruktosa sebagai hasil akhir. Oleh karena itu tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kombinasi suhu dan waktu isomerisasi yang tepat untuk pembuatan *high fructose syrup* dari pati ubi kayu *waxy*.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kombinasi perlakuan suhu dan waktu isomerisasi terbaik terhadap karakteristik *high fructose syrup* berbasis pati ubi kayu *waxy*.

1.3 Kerangka Pemikiran

Suhu pemanasan dan waktu yang digunakan selama proses isomerisasi glukosa pada pembuatan *high fructose syrup* dari pati ubi kayu *waxy* diduga akan mempengaruhi terbentuknya fruktosa. Menurut penelitian Permanasari dkk. (2019), mengenai pembuatan sirup fruktosa dari onggok dengan proses isomerisasi dengan katalis Mg/Al dan enzim glukoisomerase, terjadi peningkatan konsentrasi fruktosa selama proses isomerisasi pada suhu 60°C. Kadar fruktosa selama proses isomerisasi dengan bantuan biokatalis enzim glukoisomerase mengalami peningkatan pada jam ke 3,5 dan 7 dan konsentrasi tertinggi yaitu sebanyak 40 g/L. Menurut penelitian Johnson *et al.* (2010), tentang produksi *high fructose syrup* dari singkong, ubi jalar dan campurannya dengan tepung sereal, proses isomerisasi glukosa dilakukan dengan pengaturan pH menjadi 7,5 suhu 60°C dan diinkubasi selama 48 jam. Rendemen fruktosa yang diperoleh pada proses isomerisasi tepung singkong sebesar 29,10%, campuran tepung singkong dan beras berkisar antara 28,68-29,62%, campuran singkong dan gandum 26,32%,

ubi jalar berkisar antara 25,18-26,54% untuk campuran tepung beras dengan ubi jalar berkisar 25,10-25,84%. Menurut penelitian Rahmawati (2018), tentang isomerisasi enzimatis tepung sorgum merah untuk pembuatan “*high fructose syrup*”, terjadi peningkatan kadar fruktosa seiring bertambahnya waktu isomerisasi. Konsentrasi fruktosa terus mengalami kenaikan dari waktu 0-48 dan kenaikan konsentrasi fruktosa secara konstan pada terjadi pada waktu 24-48 jam, diperoleh konsentrasi fruktosa tertinggi pada jam ke-48, pH 8, dan jumlah enzim glukoisomerase sebanyak 500 mg.

Reaksi yang terjadi saat proses isomerisasi termasuk ke dalam reaksi endotermal, sehingga *equilibrium yield* fruktosa akan mengalami peningkatan seiring dengan suhu yang digunakan selama isomerisasi (Li *et al.*, 2020). Penggunaan suhu yang semakin tinggi dapat meningkatkan konversi glukosa, namun dapat menyebabkan terjadinya penurunan *yield* fruktosa yang diikuti terjadinya penurunan selektivitas fruktosa karena terjadinya degradasi produk samping, serta penurunan aktivitas enzim glukoisomerase (Yu *et al.*, 2012, Steinbach *et al.*, 2020). Kombinasi antara suhu pemanasan dan waktu selama proses isomerisasi yang digunakan diduga mampu memberikan pengaruh terhadap *high fructose syrup* berbasis pati ubi kayu *waxy*.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah terdapat kombinasi perlakuan suhu dan waktu isomerisasi terbaik dalam pembuatan *high fructose syrup* berbasis pati ubi kayu *waxy*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi Kayu *Waxy*

Ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) merupakan salah satu tanaman yang banyak ditemukan di wilayah Indonesia karena mudah untuk dibudidayakan. Ubi kayu banyak mengandung karbohidrat, sehingga banyak digunakan sebagai bahan makanan oleh masyarakat. Bagian ubi kayu yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan yaitu pada bagian umbinya. Umbi pada ubi kayu merupakan perubahan bentuk dan fungsi dari akar tanaman singkong sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan. Umbi pada ubi kayu umumnya memiliki bentuk silinder dan meruncing serta ada beberapa yang bercabang. Ubi kayu yang dibudidayakan dibedakan menjadi klon makan dan klon industri. Klon ubi kayu untuk dikonsumsi yaitu Adira-1, Darul Hidayah, Malang-1 dan Malang-2, sedangkan klon ubi kayu sebagai bahan baku industri yaitu Adira-4, Adira-2, UJ-3, UJ-5, Malang-4 dan Malang-6 (Anggraini dkk., 2021).

Menurut Subandi (2009), batang ubi kayu memiliki bentuk bulat dengan diameter 2,5-4 cm, berkayu beruas-ruas, dan panjang. Ketinggian batang ubi kayu dapat mencapai 1-4 m. Warna batang bervariasi tergantung kulit luar, namun batang yang masih muda umumnya berwarna hijau dan berubah menjadi keputih-putihan, kelabu, hijau kelabu atau coklat kelabu pada saat tua. Empulur batang berwarna putih, lunak, dan strukturnya empuk seperti gabus. Ubi kayu memiliki sistem perakaran tunggang atau dikotil. Batang ubi kayu bulat dan bergerigi yang disebabkan dari bekas pangkal tangkai daun, bagian tengahnya bergabus dan termasuk tumbuhan tingkat tinggi.

Ubi kayu *waxy* merupakan salah satu varietas ubi kayu yang memiliki kadar amilosa rendah (Christianty dkk., 2018) dan termasuk kedalam klon ubi kayu industri (Anggraini dkk., 2021). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Zhao *et al.* (2011), menyatakan bahwa peningkatan kualitas pati dapat dilakukan dengan menurunkan regulasi ekspresi gen GBSSI yang berperan dalam sintesis amilosa, sehingga diperoleh ubi kayu dengan kandungan amilosa yang rendah. Ubi kayu *waxy* memiliki sifat sineresis rendah, dan rasa netral karena kandungan lemak dan proteinnya yang rendah, sehingga menjadi keunggulan dibandingkan bahan pangan sereal dalam industri makanan (Sanchez *et al.*, 2010). Kandungan amilosa dan amilopektin pada pati dapat dilihat melalui pengujian dengan uji iodine. Uji iodine merupakan metode pengujian untuk membedakan jenis pati berdasarkan warna yang dihasilkan akibat molekul iodine yang masuk kedalam molekul pati sehingga membentuk ikatan kompleks (Mustakin dan Tahir, 2019). Struktur amilosa dalam suatu larutan memiliki kecenderungan membentuk koil yang sangat panjang bergerak melingkar dan fleksibel. Reaksi iodine dengan amilosa akan menghasilkan warna biru, sedangkan amilopektin dengan iodine akan menghasilkan merah violet (Musta, 2018). Skrining pewarnaan iodine pada ubi kayu *waxy* dan ubi kayu menunjukkan bahwa pemberian iodine pada ubi kayu *waxy* akan menghasilkan warna merah violet, sedangkan ubi kayu biasa menghasilkan warna biru (Karlstrom *et al.*, 2016). Skrining pewarnaan iodine pada ubi kayu *waxy* dan ubi kayu disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skrining pewarnaan iodine pada ubi kayu *waxy* dan ubi kayu
Sumber: Al Rasyid dkk. (2019)

2.2 *High Fructose Syrup (HFS)*

High fructose syrup merupakan salah satu jenis pemanis yang terbuat dari pati dengan syarat mutu yang telah ditetapkan oleh SNI disajikan pada Tabel 3. Secara umum terdapat tiga kategori *high fructose syrup* yang telah digunakan yaitu HFCS-90 untuk penggunaan khusus seperti bidang farmasi, serta HFCS-42 dan HFCS-55 untuk penggunaan komersial (Rahmawati, 2018). Terdapat dua proses utama dalam pembuatan *high fructose syrup* yaitu hidrolisis pati menjadi sirup glukosa yang dibantu oleh dua jenis enzim yaitu enzim α -amilase dan enzim glukamilase, dan proses isomerisasi glukosa menjadi fruktosa yang dibantu oleh enzim glukoisomerase (Parker *et al.*, 2010). Enzim α -amilase akan menghidrolisis molekul pati pada ikatan α -1,4-glikosidik saat proses likuifikasi dan menghasilkan fraksi-fraksi molekul dengan enam sampai tujuh unit glukosa yang diikuti dengan terjadinya penurunan viskositas. Apabila waktu reaksi likuifikasi diperpanjang, reaksi hidrolisisnya akan menghasilkan campuran antara glukosa, maltosa dan maltotriosa (Parwiyanti dkk., 2011). Enzim glukamilase memiliki kemampuan untuk menghidrolisis ikatan α -1,4 glikosidik pada molekul amilosa dan amilopektin, serta menghidrolisis ikatan α -1,6 glikosidik pada titik percabangan amilopektin. Proses hidrolisis ikatan α -1,6 glikosidik pada rantai amilopektin membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan hidrolisis pada rantai lurus α -1,4 glikosidik, namun hasil akhir yang diperoleh berupa glukosa (Azwar dan Ernawati, 2009).

High fructose syrup banyak dimanfaatkan dalam industri makanan dan penggunaannya terus mengalami peningkatan. Banyak industri makanan yang menggunakan *high fructose syrup* dibandingkan sukrosa karena kelebihan yang dimilikinya. *High fructose syrup* banyak digunakan pada produk kaleng siap makan, susu, saus dan produk makanan yang proses pengolahannya melibatkan pemanggangan seperti roti, biskuit, kue kering; minuman ringan (jus, minuman berkarbonasi, selai dan jeli). Produk olahan makanan yang dijual di Amerika Serikat sebagian besar mengandung *high fructose syrup*, bertujuan untuk memenuhi nilai fungsionalitas dalam makan (Parker *et al.*, 2010). *High fructose*

syrup memiliki beberapa kelebihan diantaranya memiliki tingkat kemanisan yang lebih tinggi (Tabel 1), tingkat kelarutan yang lebih baik dibandingkan sukrosa (Tabel 2) serta memiliki harga yang lebih murah. *High fructose syrup* juga tidak mudah untuk mengkristal dan tetap berada dalam bentuk larutan (Parker *et al.*, 2010). *High fructose syrup* memiliki tingkat kemanisan 1,4-1,8 kali lebih besar dari gula sukrosa dan 2,5 kali lebih besar dari sirup glukosa, dan akan terasa lebih manis dalam keadaan dingin. Indeks glikemik sirup fruktosa lebih rendah (32) dibandingkan dengan glukosa (138) dan sukrosa (87), sehingga dapat digunakan sebagai pemanis untuk penderita diabetes (Richana dan Suarni, 2007).

Tabel 1. Kemanisan relatif dari larutan gula dan berbagai pemanis.

Gula atau pemanis	Kemanisan Relatif*
Sukrosa	1,0
Gula Invert	0,85 – 1,0
Fruktosa	1,3
Glukosa	0,56
Galaktosa	0,4 – 0,6
Maltosa	0,3 – 0,5
Laktosa	0,2 – 0,3
Xylitol	1,01
Siklamat	30 – 80
Acesulfame K	200
Aspartame	100 – 200
Sakarin	200 – 300
Stevioside	300
Sucralose	600
Thaumatococin	2000 – 3000

* Kemanisan relatif terhadap sukrosa dengan nilai 100 (nilai 1,0 = 100)

Sumber : Rahmawati (2018).

Tabel 2. Kelarutan dari beberapa gula pada 50°C

Gula	Gram dari gula dilarutkan dalam 100 ml air (g/mL)
Fruktosa	86,9
Sukrosa	72,2
Glukosa	65,0
Maltosa	58,3
Laktosa	29,8

Sumber : Rahmawati (2018).

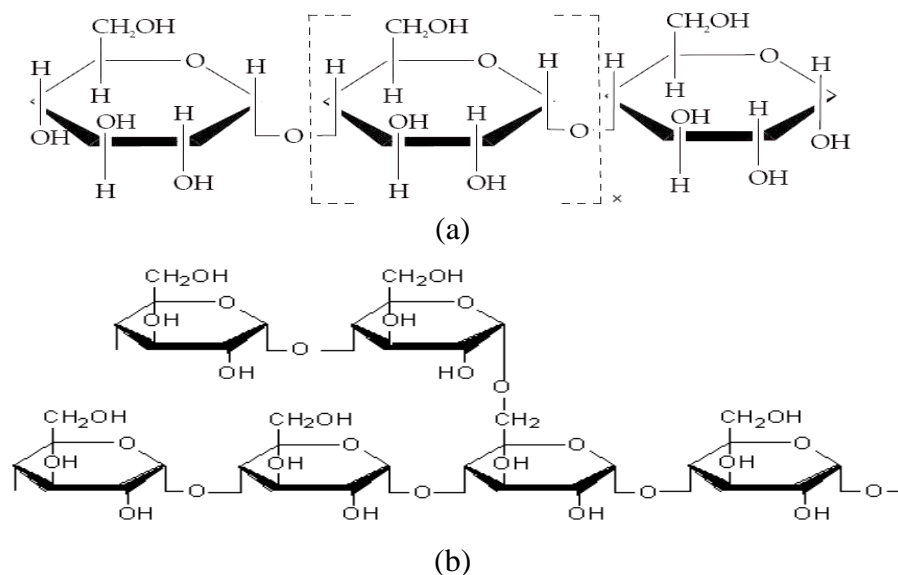
Tabel 3. Syarat mutu *high fructose syrup*

No.	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan	
			HFS 42	HFS 55
1	Keadaan			
1.1	Bau		Tidak berbau	Tidak berbau
1.2	Rasa		Manis	Manis
1.3	Warna	RBU	Maks. 35	Maks. 35
2	Kekeruhan (nilai absorbansi pada 720 nm dari larutan 54 brix)		Maks. 0,02	Maks. 0,02
3	Jumlah padatan	% b/b	70,5 - 71,5	76,5 - 77,5
4	Abu sulfat	% b/b	Maks. 0,05	Maks. 0,05
5	Fruktosa	% (adbk)	Min. 42	Min. 55
6	Dekstrosa	% (adbk)	50 -53	39 - 42
7	Belerang dioksida (SO ₂)	mg/Kg	Maks. 20	Maks. 20
8	pH (tanpa pengenceran)		3,5 – 4,5	3,5 – 4,5
9	Cemaran logam			
9.1	Timbal (Pb)	mg/Kg	Maks. 0,5	Maks. 0,5
9.2	Tembaga (Cu)	mg/Kg	Maks. 0,2	Maks. 0,2
10	Arsen (As)	mg/Kg	Maks. 1,0	Maks. 1,0
11	Cemaran mikroba			
11.1	Angka lempeng total	koloni/g	Maks. 5,0x10 ²	Maks. 5,0x10 ²
11.2	<i>Coliform</i>	APM/g	Maks. 20	Maks. 20
11.3	<i>E. coli</i>	APM/g	< 3	< 3
11.4	Kapang	koloni/g	Maks. 50	Maks. 50
11.5	Khamir	koloni/g	Maks. 50	Maks. 50

Sumber : SNI 01-2985-1992

2.3 Pati

Pati merupakan karbohidrat dengan bentuk polisakarida, banyak ditemukan pada tumbuhan terutama pada biji-bijian dan umbi-umbian. Pati yang terdapat pada tanaman tersimpan dalam granula pati yang berbentuk butiran-butiran kecil. Granula pati pada setiap tanaman memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda-beda, sehingga dapat digunakan dalam identifikasi karakteristik pati pada suatu tanaman. Rantai polisakarida pati tersusun atas ribuan molekul glukosa yang dihubungkan oleh ikatan α -glikosidik membentuk suatu rantai panjang dengan cabang ataupun tanpa cabang. Pati terdiri dari dua makromolekul polisakarida yaitu amilosa dan amilopektin (Risnoyatiningsih, 2011) disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur amilosa (a) dan amilopektin (b)

Sumber : Sari dkk. (2020)

Amilosa merupakan polimer rantai tunggal molekul glukosa yang dihubungkan oleh ikatan α -1,4 glikosidik membentuk struktur linear tanpa percabangan. Satu ujung rantai amilosa bersifat pereduksi, sedangkan sifat non pereduksi berada pada ujung rantai lainnya. Amilosa memiliki sifat lebih mudah larut di dalam air dibandingkan amilopektin. Amilosa cenderung membentuk struktur yang sangat panjang dan fleksibel yang selalu bergerak melingkar, ketika direaksikan menggunakan larutan iodin akan menghasilkan warna biru (Hee-Joung An, 2005).

Amilopektin merupakan polimer molekul glukosa dengan struktur linear yang dihubungkan oleh ikatan α -1,4 glikosidik dan ikatan α -1,6 glikosidik pada titik percabangan (Yuniwati dkk., 2011). Amilopektin cenderung memiliki struktur rantai yang bercabang dengan jumlah ikatan percabangan sekitar 4-5% dari seluruh ikatan yang terdapat pada amilopektin.

Amilosa dan amilopektin dapat dipisahkan dengan cara melarutkan pati ke dalam air hangat dengan suhu dibawah suhu gelatinisasi pati. Pada suhu tersebut, fraksi amilosa akan terlarut dalam air, sedangkan fraksi amilopektin tidak akan larut (Risnoyatiningsih, 2011). Secara umum, rasio amilosa dan amilopektin yang terkandung dalam pati yang normal yaitu 25% amilosa dan 75% amilopektin. Kadar amilosa dan amilopetin yang terkandung dalam dalam pati dapat mempengaruhi sifat fungsional pati seperti viskositas dan kemampuan dalam pembentukan gel. Kadar amilosa yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pati akan bersifat kering, kurang lekat dan cenderung menyerap air lebih banyak (higroskopis) (Risnoyatiningsih, 2011). Amilosa cenderung memberikan sifat keras (Hawab, 2004), sehingga makanan yang mengandung amilosa tinggi cenderung memiliki sifat yang lebih keras dan kurang mengembang karena adanya keterbatasan proses pemekaran (Hee-Joung An, 2005). Amilopektin cenderung memberikan sifat lengket (Hawab, 2004), sedangkan dalam produk makanan amilopektin cenderung merangsang pemekaran produk sehingga makanan yang dihasilkan memiliki sifat ringan, porus, garing, dan renyah (Hee-Joung An, 2005).

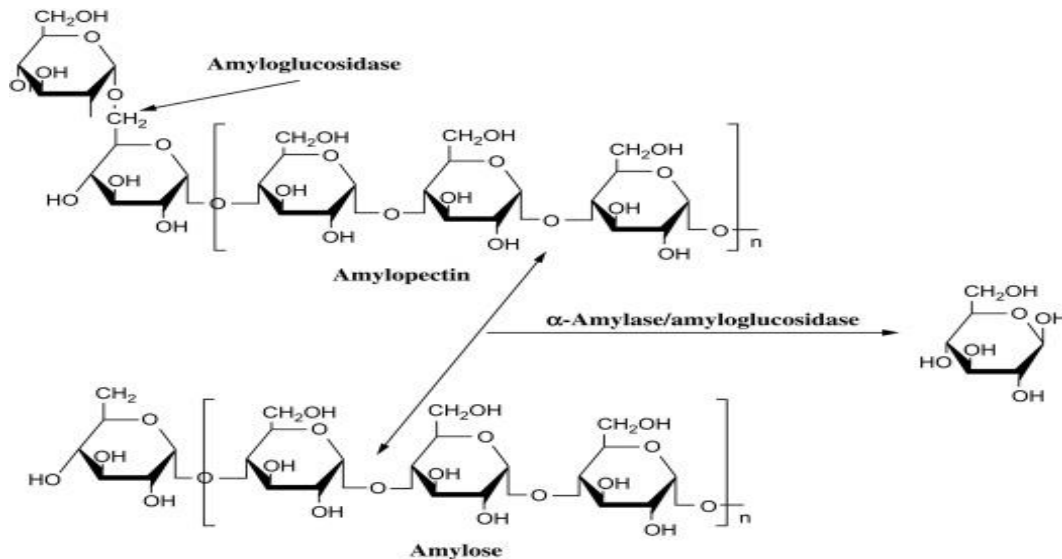
Jumlah pati yang terkandung dalam suatu bahan memiliki peran cukup penting, kandungan pati yang semakin tinggi dikehendaki terutama pada bidang industri pengolahan yang menggunakan pati sebagai bahan baku. Kandungan pati dalam sebuah tanaman dipengaruhi oleh umur tanaman dan lama penyimpanan setelah panen. Pati memegang peranan penting dalam industri pengolahan pangan non pangan, seperti pada industri kertas, lem, tekstil, permen, glukosa, dekstrosa, sirup fruktosa, dan lain-lain. Pati biasanya dimanfaatkan sebagai bahan pengikat dan bahan pengental dalam dunia industri (Koswara, 2006).

2.4 Enzim α -Amilase

Amilase merupakan kelompok enzim *saccharidase* yaitu enzim yang dapat menghidrolisis pati menjadi gula sederhana. Amilase yang terdapat dalam tubuh manusia berfungsi untuk memecah pati yang terkandung dalam makanan menjadi struktur yang lebih sederhana sehingga dapat dimanfaatkan oleh tubuh. Selain terdapat pada sistem pencernaan manusia, amilase juga dapat ditemukan pada biji sereal berkecambah, bakteri, malt dan jamur *Aspergillus oryzae* (Li *et al.*, 2020). Kemudahan untuk *scale-up* serta biaya yang rendah menjadi salah satu kelebihan dari enzim amilase yang diekstrak dari tanaman jika dibandingkan dengan enzim amilase yang diperoleh dari bakteri dan fungi. Berdasarkan cara kerjanya dalam menghidrolisis ikatan glikosidik, enzim amilase dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu α -amilase, β -amilase dan γ -amilase (Sundarram *et al.*, 2014).

Enzim α -amilase merupakan kelompok *endoamilase* yang memiliki kemampuan untuk menghidrolisis ikatan α -1,4 glikosidik rantai lurus amilosa maupun amilopektin pada polimer pati secara internal untuk menghasilkan produk dengan konfigurasi α . Meskipun dapat menghidrolisis ikatan α -1,4 ikatan glikosidik, namun enzim α -amilase tidak dapat memutus ikatan α -1,6 glikosidik pada rantai cabang amilopektin. Enzim α -amilase juga disebut sebagai *metalloenzyme*, karena aktivitas enzim dipengaruhi oleh keberadaan kofaktor kalsium. Mekanisme kerja enzim α -amilase pada molekul amilosa terdiri dari dua tahap yaitu degradasi amilosa dan pembentukan glukosa dan maltosa. Tahap pertama α -amilase akan mendegradasi amilosa secara acak menjadi maltosa dan maltotriosa. Proses ini berlangsung secara cepat dan diikuti terjadinya penurunan viskositas gel pati. Tahap kedua yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir, proses ini terjadi secara tidak acak dan prosesnya terjadi lebih lambat. Aktivitas enzim α -amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa dan satu seri α -limit dekstrin, serta oligosakarida yang terdiri dari empat atau lebih glukosa yang mengandung ikatan α -1,6 glikosidik (Martinez *et al.*, 2015). Enzim α -amilase biasanya digunakan pada tahap likuifikasi pada proses

hidrolisis pati (Risnoyatningsih, 2011). Mekanisme kerja enzim α -amilase dalam menghidrolisis amilosa dan amilopektin disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hidrolisis pati oleh enzim α -amilase
Sumber : Rahmawati (2018)

Aktivitas enzim α -amilase dalam menghidrolisis ikatan glikosidik pada molekul pati dipengaruhi oleh suhu dan pH. Enzim α -amilase memiliki karakteristik sifat *thermostability* dan pH optimum yang berbeda-beda dipengaruhi oleh sumbernya. Enzim α -amilase yang berasal dari *Bacillus amyloliquefaciens* dapat bekerja secara optimum pada pH 7 dan memiliki sifat *thermostability* yang baik. Enzim α -amilase yang berasal dari *Thermococcus profundus* dapat bekerja secara optimum pada pH 5 (Sundarram *et al.*, 2014). Enzim α -amilase yang diperoleh dari mikroba dapat stabil pada pH 5,5-8,0 (Risnoyatningsih, 2011). Enzim α -amilase termodifikasi dapat bekerja pada suhu hingga 105-110°C dengan pH 5,1-5,6 selama 60-180 menit (Sivaramakrishnan *et al.*, 2006). Enzim α -amilase mempunyai kondisi optimum pada suhu 90-105°C dengan kisaran pH 5,6-6,0. Penggunaan suhu yang tinggi melebihi kondisi optimum dapat mengganggu dan merusak enzim, sedangkan suhu yang terlalu rendah akan menyebabkan gelatinisasi pati tidak sempurna (Richardson *et al.*, 2002).

2.5 Enzim Glukoamilase

Enzim glukoamilase merupakan salah satu enzim yang digunakan dalam proses hidrolisis pati. Enzim glukoamilase dikenal juga dengan nama amiloglukosidase atau α -(1,4)-D-glukan glukohidrolase. Enzim glukoamilase dapat ditemukan pada jamur: *Aspergillus sp.*, *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus niveus*, yeast: *Saccharomyces diasticus*, *Saccharomycopsis fibuligera*, dan bakteri: *Clostridium acetobutylicum* (Whitaker *et al.*, 2003). Enzim glukoamilase termasuk kelompok *eksoamilase* yang dapat menghidrolisis ikatan α -1,4 glikosidik membentuk unit-unit glukosa dari gugus non-pereduksi pada ujung rantai polisakarida luar (Aiyer, 2005). Enzim glukoamilase berperan dalam menghidrolisis ikatan α -1,4 glikosidik pada molekul amilosa dan amilopektin serta menghidrolisis ikatan α -1,6 glikosidik pada amilopektin (Risnoyatiningsih, 2011).

Enzim glukoamilase digunakan pada tahap sakarifikasi dalam proses hidrolisis pati menjadi gula-gula sederhana. Penggunaan enzim glukoamilase pada tahap sakarifikasi dapat meningkatkan kadar gula pereduksi (Sutamihardja dkk., 2017). Peningkatan kadar gula pereduksi disebabkan oleh kemampuan enzim glukoamilase dalam menghidrolisis maltosa dan dekstrin menjadi glukosa. Selain mampu memutus ikatan α -1,4 glikosidik pada polimer pati, enzim glukoamilase juga mampu menghidrolisis ikatan α -1,6 glikosidik, sehingga proses hidrolisis berlangsung maksimal (Risnoyatiningsih, 2011). Enzim glukoamilase murni banyak digunakan dalam pembuatan sirup glukosa yang berasal dari maltodekstrin hasil pemurnian pati yang diproduksi oleh α -amilase (Rahmawati dan Sutrisno, 2015). Aktivitas enzim glukoamilase dalam menghidrolisis pati dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, pH, dan waktu reaksi. Kondisi optimum untuk enzim glukoamilase yaitu pada suhu 40-60°C, dengan nilai pH 4,5 dan waktu reaksi yang diperlukan untuk hidrolisis pati yaitu sekitar 48-96 jam (Rahmawati dan Sutrisno, 2015).

2.6 Enzim Glukoisomerase

Isomerase merupakan golongan enzim yang dapat mengubah konfigurasi molekul satu isomer menjadi isomer lainnya. Isomerase dapat ditemukan di dalam metabolisme dan genom sebagian besar makhluk hidup. Keberadaan isomerase dalam makhluk hidup berperan sebagai katalis dari reaksi biokimia dalam metabolisme pusat sebanyak 4%, khususnya metabolisme karbohidrat. Keberadaan isomerase pada tumbuhan berperan dalam metabolisme terpenoid. Isomerase adalah kelas umum enzim yang mengubah molekul dari satu isomer ke isomer lainnya dan mampu memfasilitasi penyusunan ulang intramolekul pada ikatan rusak dan terbentuk. Isomerase telah banyak diaplikasikan dalam banyak bidang. Rasemase dan epimerase (EC 5.1) dalam sintesis organik digunakan untuk produksi asam amino murni stereokimia (Schnell *et al.*, 2003). Upaya dalam desain enzim juga berhasil mengubah racemase dan epimerase yang bekerja pada asam amino dan turunannya (EC 5.1.1) menjadi enzim dengan aktivitas liase (EC 4) dan merupakan target untuk pengembangan obat antimikroba dan pengobatan gangguan neuropatologis (Conti *et al.*, 2011). Keberadaan isomerase dalam metabolisme rekayasa, seperti *xylose isomerase* (EC 5.3.1.5) digunakan untuk mengubah molekul glukosa menjadi fruktosa dan direkayasa untuk meningkatkan hasil biofuel berbasis alkohol yang dihasilkan oleh *S. cerevisiae* (Lee *et al.*, 2012).

Glukoisomerase merupakan salah satu golongan isomerase yang dikenal dalam proses pembuatan *high fructose syrup*. Jenis enzim isomerase yang umum digunakan secara komersial adalah D-xilosa ketol-isomerase (EC. 5.1.1.5) yang dapat ditemukan pada intraselular mikroba penghasilnya, dan dapat terbentuk melalui induksi xilosa. Proses isomerisasi glukosa menjadi fruktosa oleh enzim glukoisomerase terjadi pada suhu 60°C dan pH 8,2. Kinerja enzim glukoisomerase dalam pembuatan *high fructose syrup* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu operasi, pH, waktu kontak, aktivator, dan konsentrasi substrat (Mahreni dan Sulistyowati, 2004).

a. Suhu Operasi

Suhu operasi sangat berpengaruh pada aktivitas enzim. Suhu operasi yang semakin tinggi dapat meningkatkan aktivitas enzim, namun suhu yang terlalu tinggi dan melewati suhu maksimum dapat menurunkan aktivitas enzim. Suhu operasi yang dianjurkan pada proses isomerisasi yaitu sekitar 60°C.

b. pH

pH bahan baku yang akan diolah juga dapat mempengaruhi aktivitas dan stabilitas enzim. Aktivitas enzim glukoisomerase maksimum pada pH sekitar 7,8-8,3, dan aktivitas menurun dengan cepat pada pH di bawah 7. Enzim isomerase akan menjadi tidak aktif pada pH di bawah 5 dan di atas 9.

c. Waktu Kontak

Waktu kontak selama proses isomerisasi dapat mempengaruhi terjadinya pembentukan hasil samping seperti zat warna. Untuk meminimalisir terbentuknya hasil samping, waktu kontak diatur secepat mungkin, biasanya sekitar 1-2 jam.

d. Aktivator

Aktivator merupakan molekul yang dapat meningkatkan aktivitas enzim dengan cara berikatan dengan enzim tersebut. Aktivitas enzim akan mengalami peningkatan apabila diberikan aktivator yang sesuai. Aktivator yang baik untuk meningkatkan aktivitas enzim glukoisomerase yaitu ion magnesium dengan jumlah yang dibutuhkan biasanya sekitar 1×10^{-3} sampai 5×10^{-3} mol/L.

e. Konsentrasi Substrat

Untuk larutan dekstroza dari hasil hidrolisis pati, konsentrasi dekstroza dalam larutan normalnya berkisar antara 93-96%.

2.7 Hidrolisis Pati

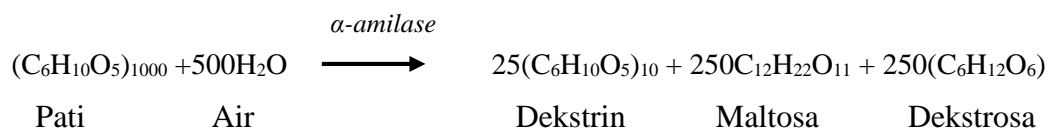
Hidrolisis merupakan proses dekomposisi kimia untuk memisahkan ikatan kimia dari substansinya dengan bantuan air. Hidrolisis pati merupakan proses dekomposisi molekul amilum oleh bantuan air menjadi komponen yang lebih sederhana seperti dekstrin, isomaltosa, maltosa dan glukosa (Purba, 2009).

Metode hidrolisis pati yang umum digunakan yaitu hidrolisis enzimatis, hidrolisis asam dan gabungan dari keduanya. Hidrolisis pati dengan metode asam biasanya menggunakan HCl (Triyono, 2010), sedangkan hidrolisis pati secara enzimatis dalam pembuatan sirup glukosa biasanya menggunakan enzim yang sinergis seperti enzim α -amilase dan enzim glukamilase. Keberhasilan hidrolisis pati secara enzimatis dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi enzim, pH, suhu, waktu hidrolisis (Rahmawati dan Sutrisno, 2015), ukuran partikel, perbandingan cairan terhadap bahan baku (volume substrat), dan pengadukan (Purba, 2009). Hidrolisis pati secara enzimatis dinilai lebih menguntungkan dibandingkan dengan menggunakan asam karena enzim dapat memutus ikatan glikosidik pada pati secara spesifik, tidak menyisakan residu dan meminimalkan terjadinya kerusakan warna pada produk akhir. Karakterisasi produk akhir hidrolisis pati biasanya dilihat dari nilai DE (*Dextrose Equivalen*) yang menyatakan nilai total gula pereduksi yang terbentuk dan dinyatakan sebagai dekstrosa dalam satuan persen dalam total padatan substrat yang di hidrolisis. Tahap hidrolisis pati menjadi sirup glukosa terbagi menjadi tiga tahapan yaitu gelatinisasi, likuifikasi, dan sakarifikasi (Rahmawati dan Sutrisno, 2015).

Gelatinisasi merupakan proses terjadinya pembengkakan granula pati sebagai akibat dari proses pemanasan. Gelatinisasi merupakan tahap awal sebelum proses likuifikasi oleh bantuan enzim α -amilase. Tahap gelatinisasi akan menyebabkan terjadinya pemutusan ikatan hidrogen pada ikatan glikosidik pati akibat proses pemanasan yang memiliki sifat tidak bisa kembali lagi ke bentuk semula (*irreversible*). Tahap likuifikasi yang dilakukan tanpa gelatinisasi menyebabkan proses hidrolisis pati oleh enzim α -amilase membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan substrat yang telah mengalami gelatinisasi (Mitsuiki *et al.*, 2005).

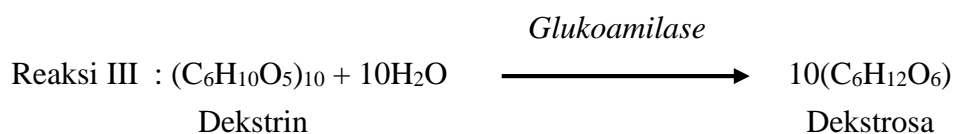
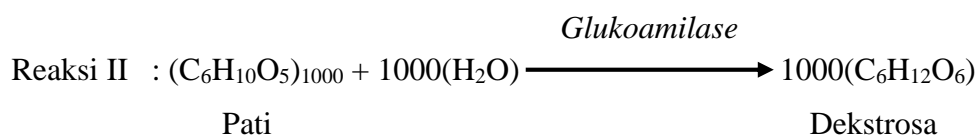
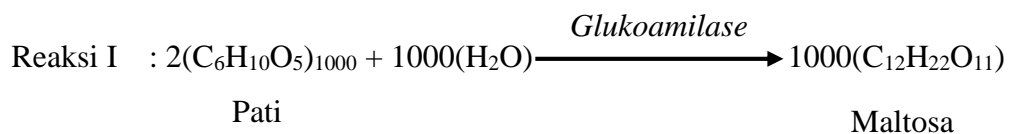
Likuifikasi merupakan proses hidrolisis pati menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana seperti maltosa, glukosa, dan dekstrin dengan bantuan enzim α -amilase. Selama proses likuifikasi terjadi penurunan viskositas larutan pati, karena proses pemanasan menyebabkan pati yang semula tidak larut menjadi mengembang dan

rusak sehingga dapat tersebar ke dalam seluruh larutan (Sun *et al.*, 2010). Likuifikasi pati umumnya dilakukan hingga DE (*Dextrose equivalen*) mencapai 15-20% atau dapat dilakukan pengecekan dengan mereaksikan larutan dengan larutan iodin hingga berwarna merah bata. Proses likuifikasi menggunakan bantuan enzim α -amilase termostabil dengan pH optimum yaitu 5,3-6,5 (Yunianta, 2010). Enzim α -amilase akan menghidrolisis ikatan α -1,4 glikosidik dan menghasilkan gula reduksi dan dekstrin dengan rantai glukosa jumlah kecil (Rahmawati dan Sutrisno, 2015). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Sumber : Rahmawati dan Sutrisno (2015).

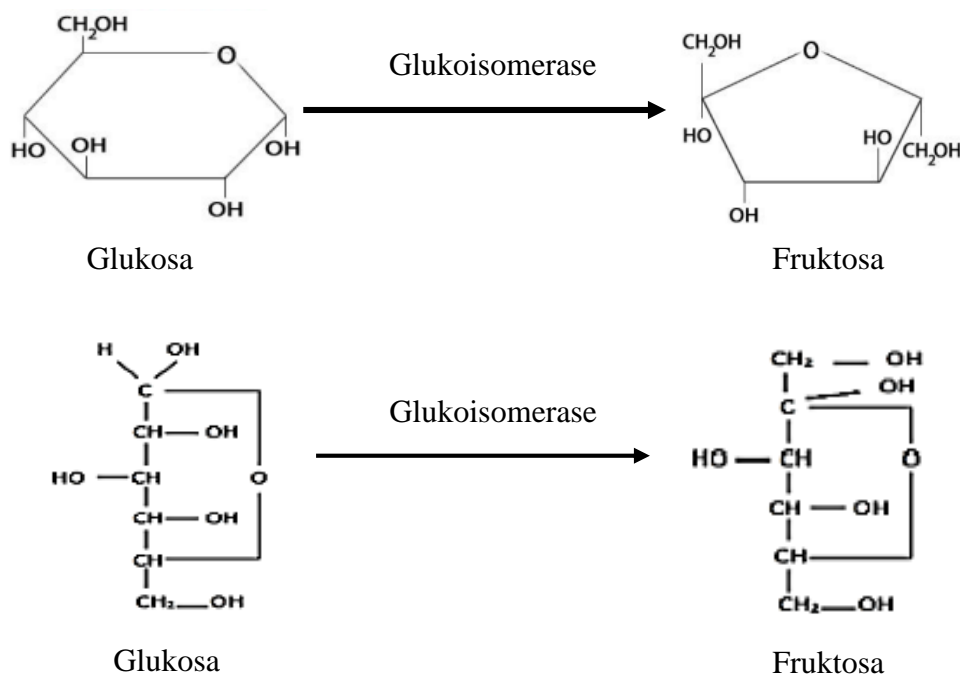
Sakarifikasi merupakan tahapan hidrolisis pati lanjutan dari hasil likuifikasi berupa dekstrin. Tahap sakarifikasi menggunakan enzim glukoamilase yang merupakan salah satu eksoenzim yang mampu menghidrolisis ikatan α -1,4 pada amilosa dan amilopektin serta ikatan α -1,6 glikosidik pada titik percabangan amilopektin. Enzim glukoamilase akan menghidrolisis pati menjadi oligosakarida, matotriosa menjadi maltosa dan menghidrolisis maltosa menjadi glukosa. Tahap sakarifikasi biasanya membutuhkan waktu antara 48-96 jam dengan suhu antara 55-60°C dan pH 4,5 (Rahmawati dan Sutrisno, 2015). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Sumber : Rahmawati dan Sutrisno (2015).

2.8 Isomerisasi Glukosa

Isomerisasi merupakan proses transformasi suatu molekul menjadi molekul lain yang memiliki rumus molekul yang sama namun konfigurasi yang berbeda. Isomerisasi pada beberapa molekul dan beberapa kondisi dapat terjadi secara spontan. Isomerisasi glukosa merupakan proses transformasi molekul glukosa menjadi molekul fruktosa dengan menggunakan biokatalis berupa enzim glukoisomerase atau katalis hidrogen. Keberhasilan isomerisasi glukosa secara enzimatik dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu pH, temperatur, waktu reaksi, dan media. Tahapan isomerisasi dilakukan pada sirup glukosa yang diperoleh pada proses sakarifikasi dengan bantuan enzim glukoisomerase. Proses isomerisasi glukosa dilakukan pada suhu 60-65°C dengan pH larutan sirup glukosa berkisar 7,5-8. Selain menggunakan biokatalis, isomerisasi glukosa juga dapat dilakukan dengan menggunakan katalis hidrogen pelarut organik. Katalis hidrogen yang dapat digunakan pada proses isomerisasi glukosa yaitu sodium alumina dan pelarut *dimethylsulfoxide*, *glyserol*, *propylene glycol*, dan *ethylen glycol* (Despax *et al.*, 2013). Proses isomerisasi glukosa disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi isomerisasi Glukosa menjadi Fruktosa
Sumber : Rahmawati (2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2022 - September 2023 di Kelompok Wanita Tani (KWT) Sapporo Dusun Wonokriyo kecamatan Gading Rejo, Laboratorium Analisis Hasil Pertanian, Laboratorium Pengujian Sensori dan Laboratorium Pengujian Mutu Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ubi kayu *waxy*, air, enzim α -amilase, enzim glukoamilase, enzim glukoisomerase, jeruk lemon dan bahan-bahan lain untuk analisis.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan, pisau, mesin pres, mesin pamarut, kain saring, baskom, loyang, oven, ayakan 80 mesh, timbangan analitik, panci, pengaduk, refraktometer, thermometer, penangas air, botol vial, kertas saring, spektrofotometer, dan pH meter serta alat-alat analisis.

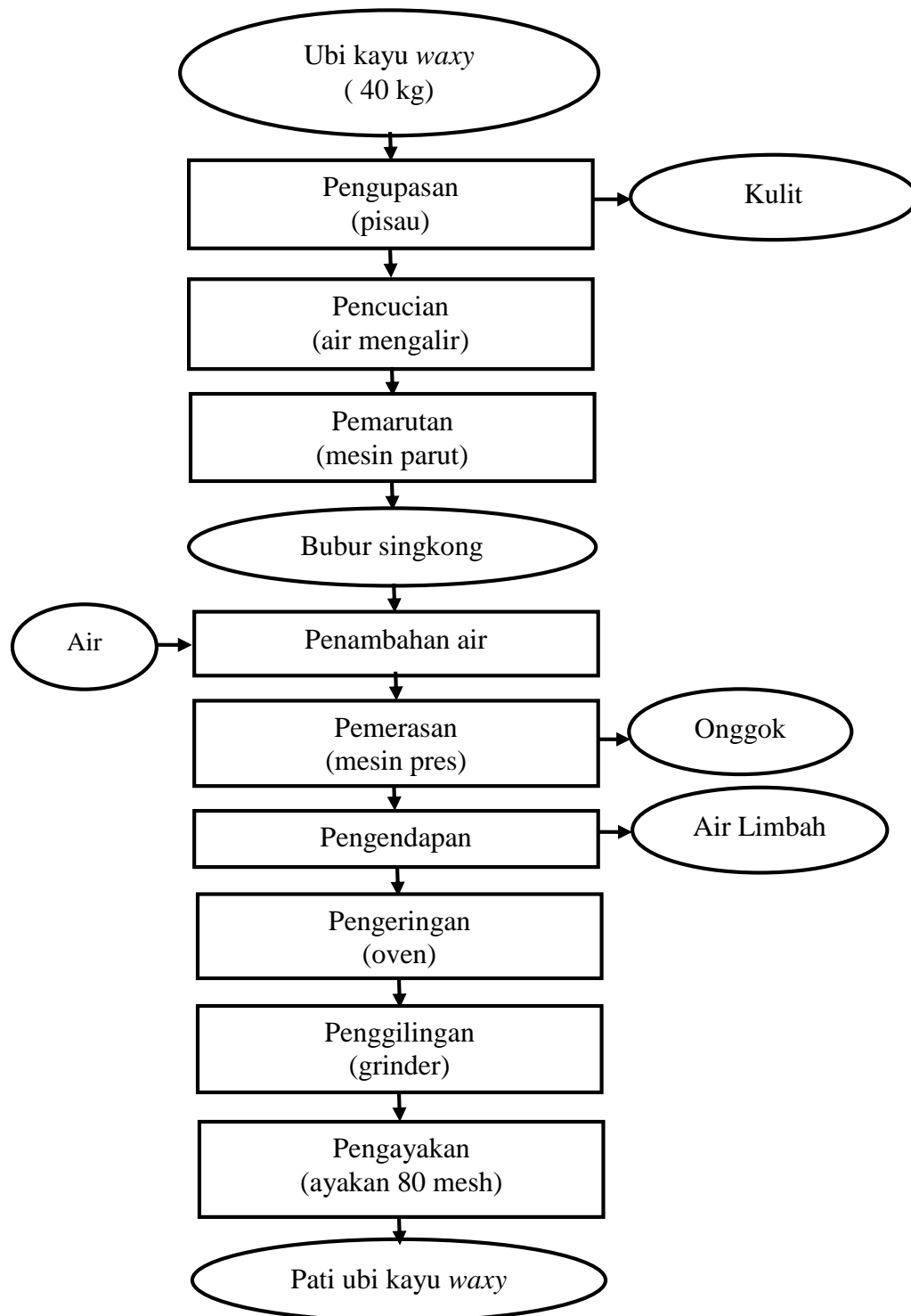
3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini disusun dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yang terdiri dari faktor kombinasi suhu dan waktu isomerisasi. Perlakuan terdiri dari T₁I₁ (T=55°C, I=1 jam), T₁I₂ (T=55°C, I=2 jam), T₁I₃ (T=55°C, I=3 jam), T₂I₁ (T=60°C, I=1 jam), T₂I₂ (T=60°C, I=2 jam), T₂I₃ (T=60°C, I=3 jam), T₃I₁ (T=65°C, I=1 jam), T₃I₂ (T=65°C, I=3 jam), dan T₃I₃ (T=65°C, I=3 jam) dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Pengamatan yang dilakukan meliputi kadar glukosa, gula reduksi, total padatan, pH, dan uji sensori (warna, rasa dan aroma). Data yang diperoleh dianalisis kesamaan ragamnya dengan uji *Bartlett* dan kemenambahan data diuji dengan uji *Tuckey*. Data dianalisis sidik ragam untuk mengetahui pengaruh antar perlakuan. Apabila terdapat pengaruh antar perlakuan yang nyata, data akan dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan analisis Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf nyata 5%.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pembuatan Pati dari Ubi Kayu *Waxy*

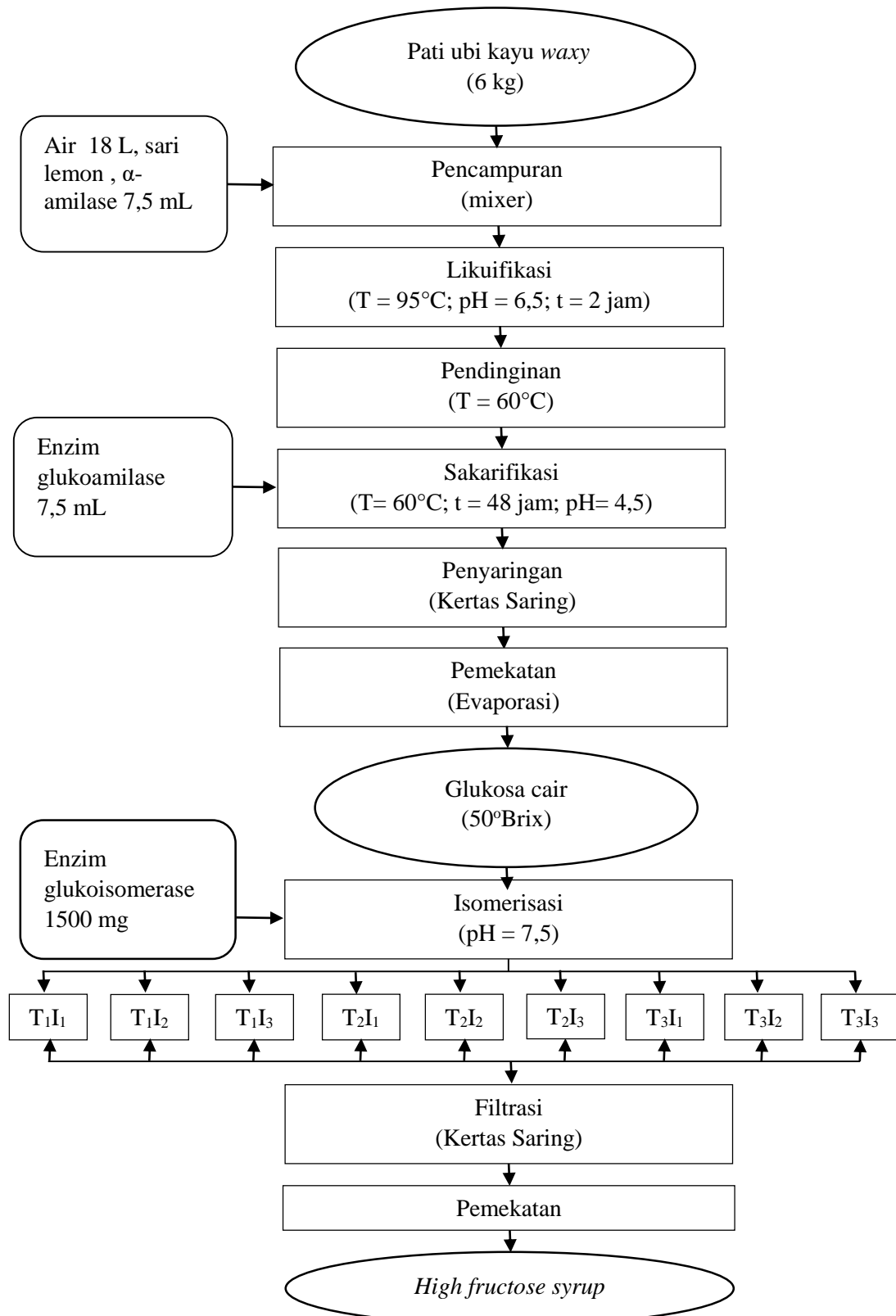
Pembuatan pati dari ubi kayu *waxy* diawali dengan persiapan bahan baku ubi kayu sebanyak 40 kg, pengupasan ubi kayu *waxy* untuk memisahkan kulit dan dagingnya, kemudian dicuci menggunakan air hingga bersih untuk memisahkan kotoran yang menempel. Daging ubi kayu *waxy* digiling dan ditambahkan air hingga diperoleh bubur singkong, kemudian diremas-remas untuk membantu proses ekstraksi lebih maksimal. Bubur singkong disaring menggunakan kain saring dan alat pres untuk memisahkan komponen pati yang terlarut dalam air dengan serat. Suspensi pati hasil penyaringan diletakkan dalam sebuah wadah untuk diendapkan patinya. Endapan pati yang diperoleh dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari dan oven, selanjutnya digiling dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh untuk memperoleh pati ubi kayu *waxy* yang halus. Proses ekstraksi pati ubi kayu *waxy* disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir ekstraksi pati ubi kayu *waxy*
Sumber : Mustafa (2015) dengan modifikasi

3.4.1 Pembuatan *High Fructose Syrup* (HFS)

Pembuatan *high fructose syrup* dari pati ubi kayu diawali dengan persiapan alat dan bahan baku. Ditimbang pati ubi kayu *waxy* sebanyak 6.000 g, kemudian dilarutkan dalam 18.000 mL air, ditambahkan sari lemon dan 7,5 mL enzim α -amilase, kemudian dihomogenkan. Suspensi tersebut dipanaskan pada suhu 95-105°C selama 2 jam untuk proses likuifikasi. Setelah proses likuifikasi selesai, larutan didinginkan hingga suhunya menjadi 60°C, kemudian dilanjutkan tahap sakarifikasi. Pada tahap sakarifikasi ditambahkan 7,5 mL enzim glukoamilase, dihomogenkan dan disakarifikasi selama 48 jam pada suhu 60 °C. Sirup glukosa hasil sakarifikasi disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan kotoran yang terikut selama proses, kemudian dipekatkan hingga diperoleh sirup glukosa 50°Brix dan dianalisis kadar glukosa. Pada tahap isomerisasi sirup glukosa 50°Brix ditambahkan 1.500 mg enzim glukoisomerase, kemudian dihomogenkan. Proses isomerisasi dilakukan sesuai perlakuan yaitu kombinasi suhu (55°C, 60°C, dan 65°C) dan waktu (1 jam, 2 jam, dan 3 jam) sesuai dengan perlakuan. Sirup fruktosa difiltrasi dan dipekatkan. Diagram proses pembuatan *high fructose syrup* disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir proses pembuatan *high fructose syrup*
 Sumber : Rahmawati (2018) dengan modifikasi

3.5 Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan pada *high fructose syrup* dari pati ubi kayu *waxy* meliputi analisis kadar glukosa menggunakan metode *Dinitro Salisylic Acid* (DNS), analisis kadar gula reduksi menggunakan metode *luff schrool*, total padatan menggunakan *hand refractometer*, pH, dan uji sensori (rasa, aroma dan warna).

3.5.1 Kadar Glukosa

Analisa kadar glukosa menggunakan Asam Dinitrosalisilat (DNS) (Rahmawati, 2018). Prosedur analisis kadar glukosa menggunakan metode Asam Dinitrosalisilat (DNS) adalah sebagai berikut.

3.5.1.1 Pembuatan Reagen DNS

3,5-Dinitro Salisylic Acid (larutan DNS) terdiri dari dua campuran larutan, yaitu larutan A dan B. Larutan A dibuat dengan mencampurkan 0,7 g fenol, 1,5 mL natrium hidroksida (10%), 5 mL akuades, dan 0,7 g natrium bisulfit. Larutan B dibuat dengan cara mencampurkan 22,5 g natrium kalium tartrat, 30 mL natrium hidroksida (10%) dan 88 mL larutan *Dinitro Salisylic Acid* (1%). Larutan A dan larutan B dicampurkan hingga homogen kemudian disimpan dalam botol reagen coklat pada suhu kamar.

3.5.1.2 Pembuatan Buffer Sitrat 0,1 M

Asam sitrat sebanyak 2,85 g dan sodium sitrat sebanyak 10,33 g dimasukkan ke dalam labu ukur, kemudian ditambahkan akuades hingga 500 mL. pH larutan buffer diatur menjadi 5,5 dengan menambah 0,1 M NaOH.

3.5.1.3 Pembuatan Larutan Stok Glukosa Standar

Larutan induk glukosa dibuat dengan cara menimbang 0,1 g glukosa kemudian diencerkan dalam 100 mL akuades.

3.5.1.4 Pembuatan Kurva Baku Glukosa

Variasi konsentrasi larutan glukosa dibuat sebesar 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm, dan 100 ppm. Selanjutnya diambil sebanyak 0,2 mL dari tiap konsentrasi larutan glukosa, ditambahkan 1,8 mL akuades dan 3 mL DNS ke dalam tabung reaksi. Selanjutnya campuran tersebut dihomogenkan dengan menggunakan vortex kemudian dipanaskan dalam air mendidih selama 15 menit dan didinginkan menggunakan air es. Absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm.

3.5.1.5 Analisis Sampel

Sampel dipipet sebanyak 0,1 mL diletakkan pada labu ukur dan ditambahkan 9,9 mL akuades. Diambil 2 mL sampel yang telah diencerkan, ditambahkan 3 mL larutan DNS dan dihomogenkan menggunakan vortex. Selanjutnya, dipanaskan dengan air mendidih selama 15 menit dan didinginkan kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm.

3.5.2 Kadar Gula Pereduksi

Pengukuran kadar gula pereduksi dilakukan dengan menggunakan metode *luff schrool* (SNI 01-2892-1992). Sampel ditimbang sebanyak 2 g, dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL, lalu ditambahkan akuades hingga batas tera. Sampel yang telah diencerkan diambil 10 mL kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan 15 mL akuades dan 25 mL pereaksi *luff schrool*.

Larutan sampel dipanaskan selama 10 menit kemudian diangkat dan didinginkan dalam wadah berisi es (tidak boleh digoyangkan). Ditambahkan 10 mL KI 20% dan 25 mL H₂SO₄ 25%, kemudian dititrasi menggunakan Na₂S₂O₃ 0,1 N sampai berubah warna kuning jerami. Ditambahkan indikator amilum 1 mL dilanjutkan titrasi kembali menggunakan Na₂S₂O₃ 0,1 N sampai warna biru hilang. Untuk blanko dibuat dengan sampel berupa 25 mL akuades dan 25 mL larutan *luff schrool*. Data gula reduksi sampel dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Kadar Gula Reduksi (\%)} = \frac{\text{mg glukosa} \times \text{FP} \times 0,9}{\text{mg sampel}} \times 100 \%$$

*jumlah mg glukosa ditentukan berdasarkan selisih titrasi larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ antara blanko dengan sampel menurut tabel *luff schrool*.

3.5.3 Total Padatan

Pengukuran jumlah padatan pada *high fructose syrup* dilakukan dengan menggunakan *hand-refractometer*. *Hand-refractometer* dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara dibilas dengan akuades dan diseka dengan kain yang lembut. Sampel ditetaskan di atas prisma *hand-refractometer* dan diukur derajat Brix-nya (Wahyudi dan Dewi, 2017).

3.5.4 pH

Pengukuran pH pada *high fructose syrup* dilakukan dengan menggunakan pH meter (SNI 01-2891-1992). Sebelum dilakukan pengukuran pH *high fructose syrup*, pH meter dikalibrasi dengan larutan *buffer* pH setiap saat akan melakukan pengukuran. Setelah dilakukan kalibrasi, pH meter dibersihkan menggunakan air suling. Elektroda pada pH meter dicelupkan pada *high fructose syrup* dan nilai pH akan ditunjukkan oleh jarum pada skala pH meter.

3.5.5 Uji Sensori

Pengujian sensori pada *high fructose syrup* meliputi keadaan rasa, warna dan aroma. Pengujian sensori aroma *high fructose syrup* dari pati ubi kayu *waxy* oleh 20 panelis dengan metode Fitri (2019). Pengujian sensori terhadap parameter aroma, rasa dan warna menggunakan uji skoring. Kuesioner uji sensori *high fructose syrup* dari ubi kayu *waxy* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kuesioner uji skoring *high fructose syrup*

Kuesioner Uji Skoring									
Produk : <i>High Fructose Syrup</i> (HFS) dari Ubi Kayu Waxy									
Nama Panelis :									
Tanggal :									
Dihadapan saudara disajikan 9 buah sampel <i>High Fructose Syrup</i> (HFS) yang diberi kode acak. Anda diminta untuk menilai aroma, rasa dan warna (uji skoring) dengan skor 1 sampai 5 sesuai keterangan yang terlampir.									
Parameter	Kode Sampel								
	270	582	709	620	115	214	591	356	972
Aroma									
Rasa									
Warna									
Keterangan:									
Aroma :					Rasa :				
1 : Asam					1 : Tidak manis				
2 : Pati singkong agak asam					2 : Agak manis sedikit asam				
3 : Beraroma singkong					3 : Manis sedikit asam				
4 : Agak beraroma singkong					4 : Manis				
5 : Netral (tidak beraroma singkong)					5: Sangat manis				
Warna :									
1 : Coklat pekat									
2 : Coklat muda									
3 : Kuning Kecoklatan									
4 : Kuning keemasan									
5 : Kuning jernih									

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Suhu pemanasan 60°C dan waktu isomerisasi 3 jam menghasilkan karakteristik *high fructose syrup* terbaik dengan kadar glukosa 41,74%, kadar gula pereduksi 23,78%, total padatan 65,50°Brix, pH 4,35, skor rasa 4,20 (manis), aroma 4,30 (agak beraroma singkong), dan warna 4,37 (kuning keemasan).

5.2 Saran

Saran yang diajukan dalam penelitian ini yaitu hendaknya penggunaan waktu isomerisasi selama proses isomerisasi dapat dilakukan dengan waktu yang lebih lama dan rentang yang digunakan sebaiknya lebih panjang antarperlakuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, M. I. 2012. Pengaruh Suhu dan Lama Waktu Ekstraksi Terhadap Sifat Kimia dan Fisik Pada Pembuatan Minuman Sari Jahe Merah dengan Kombinasi Penambahan Madu Sebagai Pemanis. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(2): 530-541.
- Aiyer, P. V. 2005. Review: Amylases and Their Applications. *Journal of Biotechnology*. 4 (13): 1525-1529.
- Al Rasyid, H., Winarti, D. D. T., dan Subeki. 2019. Scale Up Produksi Beras Siger dari Klon Ubi Kayu *Waxy* Kapasitas 100 Kg Per Jam. *Conference of Workshop Item (Paper)*: 1-16.
- Anggraini, N. Z., Yuliadi, E., dan Syamsoel, M. 2021. Karakterisasi Pertubuhan, Kandungan Pati, dan Kadar HCN Berbagai Klon Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Tropical Upland Resources*. 3(1):45-53.
- Azwar, D., dan Erwanti, R. 2009. Pembuatan Sirup Glukosa dari Kimpul (*Xanthosoma violaceum schott*) dengan Hidrolisa Enzimatis. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.Semarang. 1-4.
- Badan Standar Nasional. 1992. SNI 01-2891-1992 : Cara Uji Makanan dan Minuman. BSN. Jakarta. 1-36.
- Badan Standar Nasional. 1992. SNI 01-2892-1992 : Cara Uji Gula. BSN. Jakarta. 1-15.
- Badan Standar Nasional. 1992. SNI 01-2978-1992 : Sirup Glukosa. BSN. Jakarta. 1-6.
- Badan Standar Nasional. 1992. SNI 01-2985-1992 : Sirup Fruktosa (HFS). BSN. Jakarta. 1-11.
- Badan Pusat Statistik (BPS). Impor Gula Menurut Negara Asal Utama, 2010-2020. https://www.bps.go.id/statictable/2019/02/14/2014/impor-gula-menurut-negara-asal-utama_. Diakses pada 26 Maret 2022. Hal 1.

- Barati, Z., Latif, S., and Muller, J. 2019. Enzymatic hydrolysis of cassava peels as potential pre-treatment for peeling of cassava tubers. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 20 (2019) 101247: 1-8.
- Christianty, M. A., Martono, Y. dan Riyanto, C. A. 2018. Validasi Metode Analisis Amilosa Secara Spektrofotometri Ultraviolet-Visible (Uv-Vis) dalam Singkong. Seminar Nasional Biologi Dan pendidikan Biologi Uksw. 157-162.
- Conti, P., Tamborini, L., Pinto, A., Blondel, A., Minoprio, P., Mozzarelli, A., and De, M. C. 2011. Drug discovery targeting amino acid racemases. *Chem Rev*. 111:6919-6946.
- Despax, S., Estrine, B., Hoffmann, N., Bras, J.L., Marinkovic, S., and Muzart, J. 2013. Isomerization of d-glucose into d-fructose with a heterogeneous catalyst in organic solvents. *Catalysis Communications*. Vol. 39. 35-38.
- Dewi, N., Hartiati, A., dan Admadi, B. 2018. Pengaruh Suhu dan Jenis Asam pada Hidrolisis Pati Ubi Talas (*Colocasia esculenta* L. Schott) Terhadap Karakteristik Glukosa. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 6(4) : 307-315.
- Fitri, A. 2019. Studi Pembuatan Gula Cair Dari Tepung Ubi Jalar Cilembu (*Ipomea batatas* (L) Lam) dengan Hidrolisis Asam. (Skripsi). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan. 33-51.
- Gaily, M. H., Sulieman, A. K., and Abasaheed, A. E. 2013. Kinetics of a Three-Step Isomerization of Glucose to Fructose Using Immobilized Enzyme. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 4(1):31-34.
- Hawab, H. M. 2004. Pengantar Biokimia. Bayu Media Publishing. Jakarta. 124 -138.
- Hee-Joung An. 2005. Effects of Ozonation and Addition of Amino acids on Properties of Rice Starches. A Dissertation Submitted to the Graduate Louisiana State University. 1-64.
- Heldman, Dennis. R. 2012. Food Procces Engineering Second Edition. The AVI Publishing Company, Inc. Westport. 413-428.
- Johnson, R., Moorthy, S.N., and Padmaja, G. 2010. Production of High Fructose Syrup from Cassava and Sweet Potato Flours and their Blends with Cereal Flours. *Food Sci Tech Int*. 16(3): 0251–8. DOI : 10.1177/1082013210366770.
- Karlstrom, A., Calle, F., Salazar, S., Morante, N., Dufour, D., and Ceballos, H. 2016. Biological Implications in Cassava for the Production of Amylose-

Free Starch: Impact on Root Yield And Related Traits. *Frontiers in Plant Science*. 7: 604.

- Kartika, B. M., Khojayanti, L., Nuha, Listiana, S., Kusumaningrum, S., dan Wijaya, A. F. 2019. Dekstrosa Monohidrat Kualitas Farmasi Dari Pati *Manihot esculenta*, *Metroxylon sagu*, *Zea mays*, *Oriza sativa*, dan *Triticum aestivum* L. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*. 06 (2): 184-197.
- Keryanti, Permanasari, A.R., Hidayah, R.N., dan Hasanah, R. 2022. Penentuan pH dan Suhu Optimum Isomerisasi Pembuatan Sirup Fruktosa dari Hidrolisat Onggok Menggunakan Katalis Mg/Al. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles* ISSN 2614-8757. 5(1): 1-12.
- Kim, J.S., Lee Y.H., Kim, Y.I. F., and Ahmadi. 2016. Effect of microbial inoculant or molasses on fermentative quality and aerobic stability of sawdust based spent mushroom substrate. *Bioresource Technology*. 126 (2106):188-195.
- Koswara. 2006. Teknologi Modifikasi Pati. Ebook Pangan. 9-13.
- Lee, S. M., Jellison, T., and Alper, H. S. 2012. Directed evolution of xylose isomerase for improved xylose catabolism and fermentation in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl Environ Microbiol*. 78: 5708-5716.
- Li, C., Wang, Y., Zhang, Y., Wang, M., Sun, X., and Cui, H. 2020. Isomerization Kinetics of Glucose to Fructose in Aqueous Solution with Magnesium-Aluminum Hydrotalcites. *Chemistry Select*. 5: 270–279. doi: 10.1002/slct.201903959.
- Mahreni, dan Sulistyowati, E. 2004. Pembuatan “ *High Fructose Syrup*” Dari Tepung Maizena Secara Enzimatis (*The Making Of High Fructose Syrup From Cornmeal Flour Through Enzymization*). Prosiding SNTPK VI 2004. ISSN 1410-9891. 1-9.
- Martinez, Mario, M., Joana, P., and Manuel, G. 2015. Physicochemical modification of native and extruded wheat flours by enzymatic. *Food Chemistry*. University of Valladolid. Spanyol. *Food Chemistry*. 167:447-453.
- Megavitry, R., Laga, A., Syarifuddin, A., dan Widodo, S. 2019. Pengaruh suhu gelatinisasi dan waktu sakarifikasi terhadap produksi gula Sagu. In *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 26-27 Juli 2019. Makassar. 125-128.
- Misljenovic, N., Koprivica, G., Pezo, L., Levic, L., Curcic, B., Filipovic, V., and Nicetin, M. 2012. Optimization of the osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses. *Thermal Science*. 16 (1): 43-52.

- Mitsuiki, S., Mukae, K., Sakai, M., Goto, M., Hayashida, S., and Furukawa, K. 2005. Comparative Characterization of Raw Starch Hydrolizing α -amylase from Various Bacillus Strains. *Journal Enzymic Tech.* 37: 410- 416.
- Musta, R. 2018. Waktu Optimum Hidrolisis Pati Limbah Hasil Olahan Ubi Kayu (*Manihot esculenta Crantz* var. Lahumbu) Menjadi Gula Cair Menggunakan Enzim α -amilase Dan Glukoamilase. *Indonesian Journal of Chemical Research.* 5(2): 498–507.
- Mustafa, A. 2015. Analisis Proses Pembuatan Pati Ubi Kayu (Tapioka) Berbasis Neraca Massa. *Jurnal Agrotek.* 9 (2):127-133.
- Mustakin, F., dan Tahir, M. M. 2019. Analisis Kandungan Glikogen Pada Hati, Otot, dan Otak Hewan. *Canrea Journal.* 2(2):75-80.
- Natori, R., Winarti, S., dan Anggreini, R. A. 2022. Karakteristik HFS (*High Fructose Syrup*) dari umbi gembolo yang diproduksi secara hidrolisis enzimatis menggunakan amilase dan inulinase. *Jurnal Teknologi Pangan.* 13(2): 166-174.
- Nela, E. S. 2017. Analisis total padatan tak larut air dan sifat organoleptik madu sawo (*achras zapota* L.) (Tugas Akhir). Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Pertanian Universitas Garut. 2(1): 8-17.
- Parker, K., Salas, M., and Nwosu, V.C. 2010. High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns. *Biotechnology and Molecular Biology Review.* 5(5): 71-78.
- Parwiyanti, F., Pratama, dan Arnita, R. 2011. Sifat Kimia Dan Fisik Gula Cair Dari Pati Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennts). Universitas Sriwijaya. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan.* 12 (3): 171-176.
- Permanasari, A. R., Fauzan, A., Rachmalia, N, L., Elfantil, R., dan Wibisono, W. 2019. Pembuatan sirup fruktosa dari Onggok dengan Proses Isomerisasi dengan Katalis Mg/Al Hidrotalsit dan Enzim Glukosa isomerase. *Jurnal Fisika: Seri Konferensi.* 1450(2020) 012002 : 1-9. doi:10.1088/1742-6596/1450/1/012002.
- Rahmawati, A. Y., dan Sutrisno, A. 2015. Hidrolisis Tepung Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas* L) Secara Enzimatis Menjadi Sirup Glukosa Fungsional : Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri.* 3(3): 52–59.
- Rahmawati, A. 2018. Isomerisasi Enzimatik Tepung Sorgum Merah Untuk Pembuatan “*High Fructose Syrup*” (Tesis). Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 1-65.

- Richana, N. dan Suarni. 2007. Teknologi Pengolahan Jagung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 386-409.
- Richardson, T. H., Tan, X., Frey, G., Callen, W., Cabell, M., Lam, D., Macomber, J., Short, J. M., Robertson, D. E., and Miller, C. 2002. A Novel High Performance Enzyme for Starch Liquefaction Discovery and Optimization of a Low pH, Thermostable α -amylase. *Journal Biology and Chemistry*. 227: 26501-26507.
- Risnoyatiningsih, S. 2011. Hidrolisis Pati Ubi Jalar Kuning Menjadi Glukosa Secara Enzimatis. *Jurnal Teknik Kimia*. 5(2): 417-424.
- Sanchez, T., Dufour, D., Moreno, I. X., and Ceballos, H. 2010. Comparison of pasting and gel stabilities of waxy and normal starches from potato, maize, and rice with those of a novel waxy cassava starch under thermal, chemical, and mechanical stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58:5093–5099.
- Sari, A. R., Matono, Y., dan Rondonuwu, F. S. 2020. Identifikasi Kualitas Beras Putih (*Oryza sativa* L.) Berdasarkan Kandungan Amilosa dan Amilopektin di Pasar Tradisional dan “Selepan” Kota Salatiga. *Jurnal Ilmiah Multi Sciences*. 12(1): 24-30. doi.org/10.30599/jti.v12i1.599.
- Schnell, B., Faber, K., and Kroutil, W. 2003. Enzymatic racemisation and its application to synthetic biotransformations. *Adv Synth Catal*. 345:653-666.
- Sivaramakrishnan, S., Gangadharan, D., Nampoothiri, K. M., Soccol, C., and Pandey, A. 2006. α -Amilase From Microbial Sources An Overview on Recent Developments. *Journal of Food Technology and Biotechnology*. 44(2): 173-184.
- Steinbach, D., Klier, A., Kruse, A., Sauer, J., Wild, S., and Zanker, M. 2020. Isomerization of glucose to fructose in hydrolysates from lignocellulosic biomass using hydrotalcite. *Processes*. 8(6): 1–15.
- Subandi. 2009. Teknologi Budidaya Ubi Kayu. *Iptek Tanaman Pangan*. 4(2) : 131-153.
- Sun, J., Zhao, R., Zeng, J., Li, G., and Li, X. 2010. Characterization of Dextrins with Different Dextrose Equivalents. 15: 5162- 5173.
- Sundarram, Ajita, and Thirupathihalli, P., K., M. 2014. α -Amylase Production and Applications: A Review. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. Saphthagiri College of Engineering. India. 2(4): 166-175.

- Sutamihardja, R. T. M., Azizah, M., dan Mafiana, B. D. 2017. Perbandingan Hidrolisis Enzimatis Dan Asam Terhadap Pati Jagung Manis (*Zea Mays L.*) Dalam Pembuatan Gula Cair. *Jurnal Sains Natural*. 7(2): 58-67.
- Triyono, A. 2010. Mempelajari Pengaruh Maltodekstrin dan Susu Skim Terhadap Komposisi Yoghurt Kacang Hijau (*Phaseolus radiatus L.*). *Jurnal Sains Kimia*. Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna-LIPI. Semarang. ISSN: 1411-4216. 1-8.
- Wahyudi, A., dan R. Dewi. 2017. Upaya perbaikan kualitas dan produksi buah menggunakan teknologi budidaya sistem ToPAS pada 12 varietas semanga hibrida. *Jurnal Penelitian Pertanian*. 17(1): 17-25.
- Wee, L.L., Anuar, M., Ibrahim, S. and Chisti, Y. 2011. Enzyme-mediated production of sugars from sago starch: statistical process optimization. *Chemical Engineering Communications*. 198(11): 1339-1353.
- Whitaker, J. R., Voragen, A. G. J., and Wong, D. W. S. 2003. *Handbook of Food Enzymology*, Inc. Marcell Dekker. New York: 127-142.
- Yu, S., Kim, E., Park, S., Kyu, I., and Chul, J. 2012. Isomerization of glucose into fructose over Mg/Al hydrotalcite catalysts. *Catalysis Communications*. 29: 63–67. doi: 10.1016/j.catcom.2012.09.015.
- Yunianta, S. T. A. 2010. Hidrolisis Secara Sinergis Pati Garut (*Marantha Arundinaceae L.*) Oleh Enzim α -amilase, Glukoamilase, Dan Pullunase Untuk Produksi Sirup Glukosa. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 11(2): 78-86.
- Yuniwati, M., Ismiyati, D., dan Kurniasih, R. 2011. Kinetika Reaksi Hidrolisis Pati Pisang Tanduk dengan Katalisator Asam Chlorida. *Jurnal Teknologi*. 4 (2): 107-112.
- Zhao, S., Dufour, D., Sanchez, T., Ceballos, H., and Zhang, P. 2011. Development of Waxy Cassava With Different Biological and Physico-Chemical Characteristics of Starches for Industrial Applications. Review : *Biotechnology and Bioengineering*. 108(8): 1925-1935.