

**PRODUKSI SIRUP GLUKOSA DARI BAHAN BAKU SAGU
DENGAN PENGARUH SUHU GELATINISASI DAN
KONSENTRASI SUBSTRAT**

***GLUCOSE SYRUP PRODUCTION FROM SAGO WITH THE
EFFECT OF GELATINIZATION TEMPERATURE AND
SUBSTRATE CONCENTRATION***

RISSA MEGAVITRY



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2018**

**PRODUKSI SIRUP GLUKOSA DARI BAHAN BAKU SAGU DENGAN
PENGARUH SUHU GELATINISASI DAN KONSENTRASI SUBSTRAT**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Ilmu dan Teknologi Pangan

Disusun dan diajukan Oleh

RISSA MEGAVITRY

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2018

TESIS

PRODUKSI SIRUP GLUKOSA DARI BAHAN BAKU SAGU DENGAN PENGARUH SUHU GELATINISASI DAN KONSENTRASI SUBSTRAT

Disusun dan diajukan oleh

RISSA MEGAVITRY

Nomor Pokok P3800215005

Telah dipertahankan didepan Panitia Ujian Tesis

Pada Tanggal 27 Juli 2018

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Komisi Penasehat



Prof. Dr. Ir. Amran Laga, MS
Ketua



Dr. Adiansyah Syarifuddin, S.TP, M.Si
Anggota

Ketua Program Studi
Ilmu dan Teknologi Pangan,



Dr. Adiansyah Syarifuddin, S.TP, M.Si

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Sc. Agr. Ir. Baharuddin

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim, puji dan syukur yang tiada henti penulis haturkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah memberikan kesempatan, kekuatan, kemudahan dan rezeki kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini, dengan judul **Pengaruh Suhu Gelatinisasi dan Konsentrasi Substrat Terhadap Produksi Sirup Glukosa Sagu**, sebagai salah satu syarat dalam penyelesaian studi pada Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Pertanian di Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, yang hanya berkat bantuan berbagai pihak, maka tesis ini selesai pada waktunya. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada **Prof. Dr. Ir. Amran Laga, MS dan Dr. Adiansyah Syarifuddin, S.TP., M.Si** selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan banyak bimbingan, kritikan, saran, serta motivasi kepada penulis terhadap permasalahan penelitian, pelaksanaan penelitian, dan dalam penyusunan tesis ini. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada **Prof. Dr. Ir. Hj. Mulyati M. Tahir, M.S, Dr. Ir. Jumriah Langkong, MP, dan Dr. Andi Nur Faidah Rahman, S.TP., M.Si** selaku penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan demi kesempurnaan tesis ini. Melalui kesempatan yang berharga ini penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada Dekan Fakultas Pertanian dan para Pembantu Dekan, Karyawan dan Staf dalam lingkup Fakultas Pertanian, Ketua Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan,

Staf Dosen serta seluruh karyawan Jurusan Teknologi Pertanian yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama menempuh pendidikan.

Secara khusus penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Ibunda **Suyah Masgutik** dan Ayahanda **Alm.Sulaeman** tercinta yang penuh cinta dan kasih sayang telah mendidik dan membesarkan penulis serta senantiasa memberikan dukungan, semangat, pengertian, kesabaran serta segala usaha yang telah dilakukan tanpa mengenal lelah demi keberhasilan penulis, serta doa tulus untuk penulis yang tak ternilai harganya.

Terimakasih pula untuk **kakak-kakak** Masriani, Salma Mustafa, Herman Hatta, Asriani I Laboko dan **adik-adik** Aisyah Amini Anshari, Andi Nur Husnayanti Yasin, Siti Masita, Darmayanti Haedar, Nur Sakinah, Ummi Kalsum, Pratiwi Hamsiohan dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu dari pelaksanaan penelitian hingga penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dengan harapan yang besar semoga tesis ini dapat memberikan tambahan pengetahuan yang bernilai bagi kita semua, khususnya untuk penulis. Amin.

Makassar 30 Juli 2018

Rissa Megavitry

ABSTRAK

RISSA MEGAVITRY. *Produksi Sirup Glukosa Dari Bahan Baku Sagu Dengan Pengaruh Suhu Gelatinisasi dan Konsentrasi Substrat* (dibimbing oleh Amran Laga dan Adiansyah Syarifuddin)

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu gelatinisasi dalam memecah kristalin pati, pengaruh konsentrasi pati sagu sebagai substrat dalam produksi sirup glukosa, dan pengaruh lama sakarifikasi dalam produksi sirup glukosa. Penelitian ini terdiri dari dua tahap yang terdiri dari tahap I dengan mengkombinasikan dua faktor yaitu faktor A berupa suhu gelatinisasi (87°C dan 121°C) dengan faktor B berupa lama sakarifikasi (kontrol, 6 jam, 12 jam, 18 jam, 24 jam, 30 jam, 36 jam, 42 jam, 48 jam, 54 jam, 60 jam, 66 jam, dan 72 jam) dan tahap II dengan mengkombinasikan dua faktor yaitu faktor X berupa konsentrasi substrat (20%, 25%, 30%, dan 35%) dengan faktor Y berupa lama sakarifikasi (kontrol, 6 jam, 12 jam, 18 jam, 24 jam, 30 jam, 36 jam, 42 jam, 48 jam, 54 jam, 60 jam, 66 jam, dan 72 jam). Tiap tahap penelitian dilakukan pengulangan sebanyak dua kali menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial. Hasil penelitian tahap I menunjukkan bahwa penggunaan suhu gelatinisasi 121°C menghasilkan nilai gula pereduksi sebesar 108,34 g/L, total padatan sebesar 25,43%, dekstrosa ekuivalen sebesar 54,17%, dan tingkat kemanisan sebesar 23,22°brix. Sakarifikasi selama 72 jam menghasilkan sirup glukosa dengan nilai gula pereduksi sebesar 126,54 g/L, total padatan sebesar 27,15%, dekstrosa ekuivalen sebesar 63,27%, dan tingkat kemanisan sebesar 24,80°brix. Hasil penelitian tahap II menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi sagu sebesar 30% menghasilkan nilai gula pereduksi sebesar 186,07 g/L, total padatan sebesar 36,13%, dekstrosa ekuivalen sebesar 62,02%, dan tingkat kemanisan sebesar 33,92°brix. Sakarifikasi selama 72 jam menghasilkan sirup glukosa dengan nilai gula pereduksi sebesar 213,33 g/L, total padatan sebesar 38,01%, dekstrosa ekuivalen sebesar 71,11%, dan tingkat kemanisan sebesar 35,80°brix.

Kata kunci: sagu, konsentrasi, gelatinisasi, sakarifikasi, glukosa

ABSTRACT

RISSA MEGAVITRY. *Glucose Syrup Production From Sago With The Effect of Gelatinization Temperature and Substrate Concentration* (supervised by Amran Laga and Adiansyah Syarifuddin)

This research aimed to study the effect of gelatinization temperature to break the sago starch crystalline, the effect of sago starch concentration as the substrate in glucose syrup production, and the effect of saccharification duration in glucose syrup production. This research consists of two stages. Stage I used two factors namely gelatinization temperature (87°C and 121°C) and saccharification duration (control, 6 hours, 12 hours, 18 hours, 24 hours, 30 hours, 36 hours, 42 hours, 48 hours, 54 hours, 60 hours, 66 hours and 72 hours). Stage II used two factors namely substrate concentration (25%, 30%, and 35%) and saccharification duration (control, 6 hours, 12 hours, 18 hours, 24 hours, 30 hours, 36 hours, 42 hours, 48 hours, 54 hours, 60 hours, 66 hours and 72 hours). All stages of this research were carried out with two repetitions using the factorial completely randomized design (CRD). The results of the first stage indicated that the use of gelatinization temperature of 121°C resulted in reducing sugar value of 108,34 g/L, total solid of 25,43%, dextrose equivalent of 54,17%, and sweetness level of 23,22 °brix. While the 72 hours saccharification duration resulted in reducing sugar value of 126,54 g/L, total solid of 27,15%, dextrose equivalent of 63,27%, and sweetness level of 24,80 °brix. The results of the second stage indicated that the use of sago concentration of 30% resulted in reducing sugar value of 186,07 g/L, total solid of 36,13%, dextrose equivalent of 62,02%, and sweetness level of 33,92 °brix. While the 72 hours saccharification duration resulted in reducing sugar value of 213,33 g/L, total solid of 38,01%, dextrose equivalent of 71,11%, and sweetness level of 35,80 °brix.

Keywords: sago, concentration, gelatinization, saccharification, glucose

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan dan Kegunaan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Tanaman Sagu	5
B. Pati	7
C. Pati Sagu.....	13
D. Produksi Sirup Glukosa	15
E. Enzim α -amilase	19
F. Enzim Glukoamilase	21
G. Sirup Glukosa.....	22
H. Kerangka Pikir.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
B. Alat dan Bahan Penelitian	25

	Halaman
C. Prosedur Penelitian	26
D. Desain Penelitian.....	30
E. Parameter Penelitian	31
F. Pengolahan Data.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
A. Penelitian Tahap I.....	35
A.1. Gula Pereduksi.....	36
A.2. Total Padatan.....	43
A.3. Dekstrosa Ekuivalen.....	48
A.4. Tingkat Kemanisan.....	53
B. Penelitian Tahap II.....	59
B.1. Gula Pereduksi.....	59
B.2. Total Padatan.....	66
B.3. Dekstrosa Ekuivalen.....	72
B.4. Tingkat Kemanisan.....	77
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	83
A. Kesimpulan.....	83
B. Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN	92

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
1.	Kandungan Nilai Gizi Sagu.....	14
2.	Syarat Mutu Pati Sagu Menurut SNI 01-3729-1995.....	15
3.	Standar Mutu Sirup Glukosa Menurut SNI 01-2978-1992.....	23

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
1.	Pohon Sagu	6
2.	Susunan Daerah Amorf dan Kristal	8
3.	Struktur Amilosa	9
4.	Struktur Amilopektin	10
5.	Jenis Daerah Kristalin pada Amilopektin	11
6.	Proses Gelatinisasi.....	17
7.	Kerangka Pikir Penelitian.....	24
8.	Diagram Alir Penelitian Tahap I.....	28
9.	Diagram Alir Penelitian Tahap II.....	29
10.	Hubungan Variasi Suhu Gelatinisasi Terhadap Gula Pereduksi Sirup Glukosa.....	37
11.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Gula Pereduksi Sirup Glukosa.....	41
12.	Hubungan Variasi Suhu Gelatinisasi Terhadap Total Padatan Sirup Glukosa.....	44
13.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Total Padatan Sirup Glukosa.....	47
14.	Hubungan Variasi Suhu Gelatinisasi Terhadap Dekstrosa Ekuivalen Sirup Glukosa.....	49
15.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Dekstrosa Ekuivalen Sirup Glukosa.....	52
16.	Hubungan Variasi Suhu Gelatinisasi Terhadap Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa.....	55
17.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa.....	58
18.	Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Gula Pereduksi Sirup Glukosa.....	61

No.	Judul	Halaman
19.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Gula Pereduksi Sirup Glukosa.....	64
20.	Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Total Padatan Sirup Glukosa.....	67
21.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Total Padatan Sirup Glukosa.....	69
22.	Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Dekstrosa Ekuivalen Sirup Glukosa.....	73
23.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Dekstrosa Ekuivalen Sirup Glukosa.....	76
24.	Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa.....	79
25.	Hubungan Lama Sakarifikasi Terhadap Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa.....	81

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
1.	Nilai gula pereduksi, total padatan, dekstrosa ekuivalen, dan tingkat kemanisan sirup glukosa dengan penggunaan suhu gelatinisasi 87 ^o c dan 121 ^o c	92
2.	Nilai rekap gula pereduksi, total padatan, dekstrosa ekuivalen, dan tingkat kemanisan sirup glukosa dengan penggunaan lama sakarifikasi	92
3a.	Perolehan nilai gula pereduksi (g/L) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi suhu gelatinisasi	92
3b.	Nilai rataan hubungan antara variasi suhu gelatinisasi dan lama sakarifikasi terhadap kadar gula pereduksi (g/L) sirup glukosa	93
3c.	Analisa sidik ragam gula pereduksi (g/L) sirup glukosa dengan berbagai variasi suhu gelatinisasi	93
3d.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap gula pereduksi (g/L) sirup glukosa	94
4a.	Perolehan nilai total padatan (%) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi suhu gelatinisasi	94
4b.	Nilai rataan hubungan antara variasi suhu gelatinisasi dan lama sakarifikasi terhadap total padatan (%) sirup glukosa	95
4c.	Analisa sidik ragam total padatan (%) sirup glukosa dengan berbagai variasi suhu gelatinisasi	95
4d.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap total padatan (%) sirup glukosa	96
5a.	Perolehan nilai dekstrosa ekuivalen (%) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi suhu gelatinisasi	96
5b.	Nilai rataan hubungan antara variasi suhu gelatinisasi dan lama sakarifikasi terhadap dekstrosa ekuivalen (%) sirup glukosa	97

No.	Judul	Halaman
5c.	Analisa sidik ragam deskrosa ekuivalen (%) sirup glukosa dengan berbagai variasi suhu gelatinisasi	97
5d.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap dekstrosa ekuivalen (%) sirup glukosa	98
6a.	Perolehan nilai tingkat kemanisan ($^{\circ}$ brix) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi suhu gelatinisasi	98
6b.	Nilai rata-ran hubungan antara variasi suhu gelatinisasi dan lama sakarifikasi terhadap tingkat kemanisan ($^{\circ}$ brix) sirup glukosa	99
6c.	Analisa sidik ragam tingkat kemanisan ($^{\circ}$ brix) sirup glukosa dengan berbagai variasi suhu gelatinisasi.....	99
6d.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap tingkat kemanisan ($^{\circ}$ brix) sirup glukosa	100
7.	Nilai rekap gula pereduksi, total padatan, dekstrosa ekuivalen, dan tingkat kemanisan sirup glukosa dengan penggunaan konsentrasi substrat 25%, 30%, dan 35%	100
8.	Nilai rekap gula pereduksi, total padatan, dekstrosa ekuivalen, dan tingkat kemanisan sirup glukosa dengan penggunaan lama sakarifikasi	100
9a.	Perolehan nilai gula pereduksi (g/L) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi konsentrasi substrat	101
9b.	Nilai rata-ran hubungan antara variasi konsentrasi substrat dan lama sakarifikasi terhadap kadar gula pereduksi (g/L) sirup glukosa	102
9c.	Analisa sidik ragam gula pereduksi (g/L) sirup glukosa dengan berbagai variasi konsentrasi substrat	102
9d.	Analisa lanjutan duncan variasi konsentrasi substrat terhadap gula pereduksi (g/L) sirup glukosa	102
9e.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap gula pereduksi (g/L) sirup glukosa	103
10a.	Perolehan nilai total padatan (%) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi konsentrasi substrat	104

No.	Judul	Halaman
10b.	Nilai rata-ratan hubungan antara variasi konsentrasi substrat dan lama sakarifikasi terhadap nilai total padatan (%) sirup glukosa	105
10c.	Analisa sidik ragam total padatan (%) sirup glukosa dengan berbagai variasi konsentrasi substrat	105
10d.	Analisa lanjutan duncan variasi konsentrasi substrat terhadap total padatan (%) sirup glukosa	105
10e.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap total padatan (%) sirup glukosa	106
11a.	Perolehan nilai dekstrosa ekuivalen (%) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi konsentrasi substrat	107
11b.	Nilai rata-ratan hubungan antara variasi konsentrasi substrat dan lama sakarifikasi terhadap nilai dekstrosa ekuivalen (%) sirup glukosa	108
11c.	Analisa sidik ragam dekstrosa ekuivalen (%) sirup glukosa dengan berbagai variasi konsentrasi substrat	108
11d.	Analisa lanjutan duncan variasi konsentrasi substrat terhadap dekstrosa ekuivalen (%) sirup glukosa	108
11e.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap dekstrosa ekuivalen (%) sirup glukosa	109
12a.	Perolehan nilai tingkat kemanisan (°brix) terhadap produktifitas sirup glukosa dengan variasi konsentrasi substrat	110
12b.	Nilai rata-ratan hubungan antara variasi konsentrasi substrat dan lama sakarifikasi terhadap nilai tingkat kemanisan (°brix) sirup glukosa	111
12c.	Analisa sidik ragam tingkat kemanisan (°brix) sirup glukosa dengan berbagai variasi konsentrasi substrat	111
12d.	Analisa lanjutan duncan variasi konsentrasi substrat terhadap tingkat kemanisan (°brix) sirup glukosa	111
12e.	Analisa lanjutan duncan lama reaksi sakarifikasi terhadap tingkat kemanisan (°brix) sirup glukosa	112

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gula merupakan senyawa organik yang penting sebagai sumber kalori karena mudah dicerna di dalam tubuh dan mempunyai rasa manis. Gula juga digunakan sebagai bahan pengawet makanan dan pencampur obat-obatan. Kebutuhan gula sebagai bahan pemanis semakin meningkat dari tahun ke tahun. Dewasa ini telah digunakan berbagai macam bahan pemanis alami dan sintesis baik itu yang berkalori, rendah kalori, dan nonkalori yang dijadikan alternatif pengganti sukrosa.

Kekurangan bahan pemanis alam (gula tebu) menyebabkan masyarakat mengonsumsi gula sintetis seperti sakarin dan natrium siklamat. Akan tetapi, bahan pemanis buatan tidak bisa menggantikan bahan pemanis alam karena memberikan rasa yang kurang enak jika dikonsumsi dalam konsentrasi tinggi serta kadar penggunaannya dibatasi oleh peraturan kesehatan di banyak negara termasuk Indonesia (Anugrahati, 1999). Sehingga perlu dilakukan penelitian-penelitian untuk mencari alternatif sumber pemanis lain selain gula tebu. Salah satu alternatif yang telah ditempuh adalah usaha menghasilkan gula dari bahan dasar pati dengan cara menghidrolisis pati menjadi gula.

Glukosa telah dimanfaatkan oleh industri kembang gula, minuman, biskuit, dan sebagainya. Industri makanan dan minuman saat ini

cenderung untuk menggunakan sirup glukosa. Hal ini didasari oleh beberapa kelebihan sirup glukosa diantaranya pada pembuatan produk es krim, glukosa dapat meningkatkan kehalusan tekstur dan menekan titik beku dan untuk kue dapat menjaga kue tetap segar dalam waktu lama dan mengurangi keretakan. Untuk permen, glukosa lebih disenangi karena dapat mencegah kerusakan mikrobiologis, dan memperbaiki tekstur (Virlandia, 2008 dalam Sutanto dkk., 2014).

Peluang penggunaan sagu sebagai bahan dasar pembuatan sirup glukosa sangat besar karena kandungan karbohidrat yang tinggi mencapai 75,88%-85,08% (Richana dkk., 2010). Sirup glukosa merupakan alternatif pemanis yang didefinisikan sebagai cairan jernih dan kental yang komponen utamanya adalah glukosa yang diperoleh dari hidrolisa pati. Hidrolisa pati dapat menggunakan asam, enzim ataupun kombinasi antara asam-enzim. Sirup glukosa yang saat ini sudah diproduksi secara komersial oleh industri-industri bersumber dari pati jagung dan pati singkong (Oesman dkk., 2009). Pada hidrolisis pati secara enzimatis untuk menghasilkan sirup glukosa, enzim yang dapat digunakan adalah α -amilase, β -amilase, amiloglukosidase, glukosa isomerase, pululanase, dan isoamilase (Virlandia, 2008 dalam Mukarramah dkk., 2016).

Beberapa penelitian tentang pembuatan sirup glukosa secara enzimatis dari bahan-bahan yang berpati telah banyak dilakukan seperti pembuatan sirup glukosa dari kimpul. Variabel operasi yang digunakan

berupa kadar suspensi, pH likuifikasi, dan suhu sakarifikasi. Sirup glukosa terbaik yang dapat dihasilkan adalah dengan variabel operasi kadar suspensi sebesar 35%, suhu sakarifikasi 65°C, serta pH likuifikasi sebesar 6, dan dari kondisi tersebut dihasilkan kadar glukosa sebesar 27,98% (Azwar dan Erwanti, 2009). Penelitian lain yang sejenis lain adalah pembuatan sirup glukosa dari kulit pisang kepok secara enzimatik dengan melakukan variasi konsentrasi substrat dan suhu likuifikasi yang digunakan. Sirup glukosa terbaik yang dapat dihasilkan adalah dengan konsentrasi substrat 10%, dan suhu likuifikasi 90°C, dan dari kondisi tersebut dihasilkan dekstrosa ekuivalen sebesar 98,56% (Albaasith dkk., 2014).

Penelitian pembuatan sirup glukosa berbahan dasar sagu dengan variasi penggunaan suhu gelatinisasi dan konsentrasi substrat belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga perlu dilakukan penelitian agar didapat hasil untuk perbandingan penelitian-penelitian mengenai pembuatan sirup glukosa sebelumnya. Dalam penelitian ini, sagu yang digunakan merupakan sagu yang berasal dari Desa Meli, Kecamatan Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Propinsi Sulawesi Selatan.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan yang telah dijelaskan pada latar belakang terdapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh penggunaan suhu gelatinisasi terhadap produksi sirup glukosa yang dihasilkan?
2. Bagaimanakah pengaruh penggunaan konsentrasi substrat sagu terhadap produksi sirup glukosa yang dihasilkan?
3. Bagaimanakah pengaruh penggunaan lama sakarifikasi terhadap produksi sirup glukosa yang dihasilkan?

C. Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menentukan penggunaan suhu gelatinisasi terbaik dalam produksi sirup glukosa.
2. Untuk menentukan penggunaan konsentrasi substrat terbaik dalam produksi sirup glukosa.
3. Untuk mengetahui pengaruh lama sakarifikasi terhadap sirup glukosa yang dihasilkan.

Kegunaan dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi akan pengaruh penggunaan suhu gelatinisasi dan konsentrasi substrat terhadap kualitas sirup glukosa yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanaman Sagu

Tanaman sagu atau *Metroxylon sagu* termasuk family *Palmae* genus *Metroxylon*. Nama ilmiah *Metroxylon* berasal dari dua kata yaitu *metra* yang berarti empulur atau parenkim dan *xylon* yang berarti xylem. *Metroxylon sagu* berarti tanaman yang menyimpan pati pada batangnya. Spesies yang mempunyai nilai ekonomi adalah *Metroxylon sagu* yang tidak berduri dan *Metroxylon rumphii* yang pelepah dan daunnya ditutupi duri (Anonim, 2006).

Sagu termasuk tumbuhan monokotil dari keluarga *Palmae*, Marga (genus) *Metroxylon* dari ordo *Spadiciflorae*. Di kawasan Indo-Pasifik terdapat lima marga Palma yang zat tepungnya telah dimanfaatkan, yaitu *Metroxylon*, *Arenga*, *Corypha*, *Euqeiissona*, dan *Caryota*. Palma sagu (*Metroxylon sp.*) dalam botani sagu digolongkan menjadi dua, yaitu palma sagu yang berbunga dua kali atau lebih (*pleoanthic*) dan palma sagu yang berbunga hanya sekali (*hapaxanthic*) (Anonim, 2006).

Di Indonesia, dikenal ada dua spesies sagu, yakni sagu sisika yang berduri (*Metroxylon rumphii* Mart.) dan sagu beka yang tidak berduri (*Metroxylon sagu* Rottb.).

Kingdom : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Kelas : Angiospermae
Ordo : Arecaceae
Famili : Palmae
Genus : *Metroxylon*
Spesies : *Metroxylon sagu* Rottb.

Batang sagu merupakan bagian yang terpenting, karena merupakan tempat penyimpanan pati atau karbohidrat yang lingkup pemanfaatannya dalam industri sangat luas, seperti industri pangan, pakan, sorbitol, dan bermacam-macam industri kimia lainnya. Ukuran batang sagu berbeda-beda, tergantung dari jenis, umur dan lingkungan atau habitat pertumbuhannya (Haryanto dan Pangloli, 1992). Bentuk tanaman sagu terlihat pada Gambar 1.

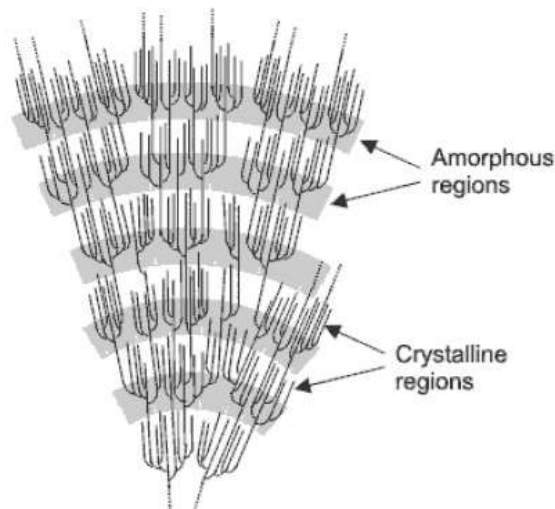


Gambar 1. Pohon Sagu (Riana, 2014)

B. Pati

Pati merupakan golongan karbohidrat yang dapat dicerna. Pati merupakan homopolimer glukosa dengan ikatan α -glikosidik yang disusun oleh unit D-Glukopironisa. Pati terdapat dalam bentuk granula. Granula pati berwarna putih, mengkilap, tidak berbau, dan tidak berasa. Pati dapat diekstrak dari berbagai sumber tanaman untuk diperoleh ekstrak pati murni. Secara alami pati merupakan butiran-butiran kecil yang sering disebut granula. Bentuk dan ukuran granula merupakan karakteristik setiap jenis pati yang digunakan untuk identifikasi. Selain ukuran granula karakteristik lain adalah bentuk, keseragaman granula, lokasi hilum, serta permukaan granulanya (Winarno, 1991).

Granula pati dibentuk oleh lapisan semi kristalin yang berlapis, berpusat pada cincin pertumbuhan yang biasanya terletak ditengah granula pati. Lapisan semikristalin tersebut terdiri dari unit amorf dan unit kristalin. Rantai utama dari amilopektin yang berbentuk heliks ganda membentuk lapisan kristalin, sedangkan rantai percabangan pada amilopektin dan amilosa membentuk lapisan amorf. Daerah kristal lebih tahan terhadap perlakuan asam kuat dan enzim. Bagian amorf disisi lain dapat menyerap air dingin sampai 30% tanpa merusak struktur pati secara keseluruhan (Tang *et al.*, 2006). Struktur amorf dan kristalin pada granula pati terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Susunan daerah amorf dan kristal (Tang *et al.*, 2006)

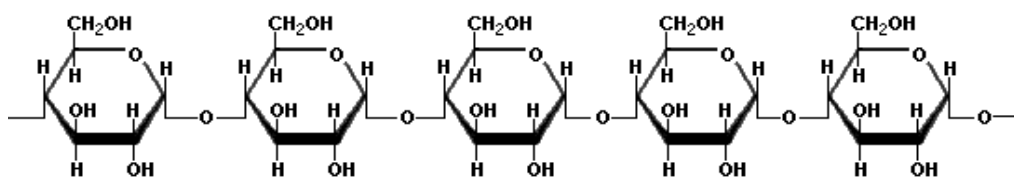
Pati tersusun paling sedikit oleh tiga komponen utama yaitu amilosa, amilopektin dan material antara seperti, protein dan lemak. Umumnya pati mengandung 15–30% amilosa, 70–85% amilopektin dan 5–10% material antara. Akan tetapi presentase jumlah amilosa dan amilopektin dalam pati secara rinci bergantung pada sumber pati (Gao *et al.*, 2014). Amilosa mempunyai struktur lurus dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa, sedang amilopektin mempunyai cabang dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa (Winarno, 1991).

Amilosa merupakan bagian polimer dengan ikatan α -(1,4) dari unit glukosa dan pada setiap rantai terdapat 500-6000 unit D-glukosa, bergantung pada sumbernya. Membentuk rantai lurus yang umumnya dikatakan sebagai linier dari pati (Joung An, 2005). Rantai amilosa berbentuk heliks, bagian dalam struktur heliks mengandung banyak atom H sehingga bersifat hidrofilik yang memungkinkan amilosa membentuk susunan paralel satu sama lain melalui ikatan hidrogen dengan gaya *van*

der walls, sehingga afinitas amilosa terhadap air berkurang. Amilosa juga dapat membentuk kompleks dengan asam lemak bebas, komponen asam lemak dari gliserida. Sejumlah alkohol dan iodine pembentuk kompleks amilosa dengan lemak atau pengemulsi dapat mengubah suhu gelatinisasi, tekstur dan profil viskositas dari pasta pati (Estiasih, 2006).

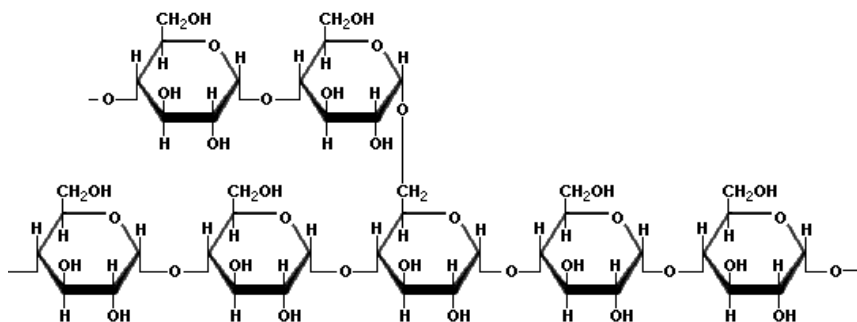
Karakteristik dari amilosa dalam suatu larutan adalah kecenderungan membentuk koil yang sangat panjang dan fleksibel yang selalu bergerak melingkar. Struktur ini mendasari terjadinya interaksi iod-amilosa membentuk warna biru. Struktur ini pula yang dijadikan sebagai dasar untuk mengidentifikasi amilosa, dimana dengan uji iodine amilosa akan memberikan warna khas biru (Kusnandar, 2010).

Amilosa memiliki kecenderungan untuk beretrogradasi atau keluar dari larutan dengan membentuk asosiasi antar rantai dan dianggap bertanggung jawab atas retrogradasi pati. Kehadiran amilosa cenderung mengurangi kristalinitas amilopektin dan mempengaruhi kemudahan penetrasi air ke dalam butiran pati. Secara umum amilosa terletak diantara molekul-molekul amilopektin dan secara acak berada selang-seling diantara daerah amorf dan kristal (Chaplin, 2016). Gambar struktur amilosa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Amilosa (Chaplin, 2016)

Amilopektin adalah polimer berantai cabang dengan ikatan α -(1,4)-glikosidik dan ikatan α -(1,6)-glikosidik di tempat percabangannya. Glukosa yang terdapat dalam amilopektin jumlahnya jauh lebih besar, yaitu antara 5.000 – 40.000 unit, sebanding dengan berat molekul 800.000 sampai jutaan (Haryanto dan Pangaloli, 1992). Selain perbedaan struktur, panjang rantai polimer, dan jenis ikatannya, amilosa dan amilopektin mempunyai perbedaan dalam hal penerimaan terhadap iodine. Amilopektin membentuk kompleks berwarna coklat kemerahan bila ditambah dengan iodine. Amilopektin merupakan molekul paling dominan dalam pati (Joung An, 2005). Struktur amilopektin dapat dilihat pada Gambar 4.

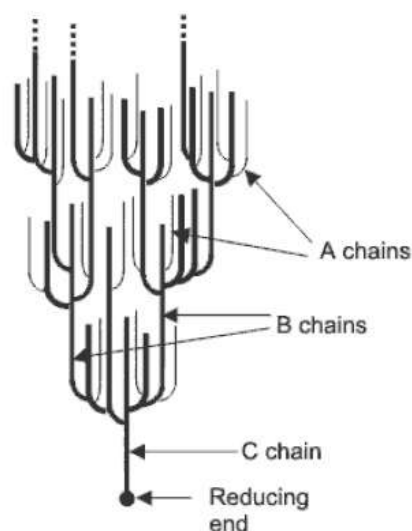


Gambar 4. Struktur Amilopektin (Chaplin, 2016)

Penelitian telah menunjukkan hubungan antara struktur molekul amilopektin dan struktur kristal dari granula pati. Struktur amilopektin meliputi tiga jenis daerah kristalin: A, B, dan C. Jenis daerah kristalin ditentukan oleh perbandingan nilai amilosa dan amilopektin, tingkat polimerisasi, tingkat percabangan, dan panjang rantai amilopektin (Smits, 2001). Struktur daerah kristalin tipe A ditemukan dalam pati sereal, struktur daerah kristalin tipe B dalam pati umbi, struktur tipe C ditemukan dalam

pati legum dan kacang (Singh *et al.*, 2009). Struktur kristalin didasarkan pada heliks ganda yang terbentuk oleh molekul amilopektin.

Dalam struktur tipe A, cabang amilopektin pendek (tingkat polimerisasi 6-15) dan dihubungkan oleh ikatan α -1,6 glikosidik. Daerah kristalin tipe A adalah rantai yang terkait pada rantai B dan tidak memiliki rantai lain yang melekat. Pada tipe B, rantai glukosa lebih terpolimerisasi dapat berasal dari cabang amilopektin dan dapat bertindak sebagai batang untuk struktur tipe A. Struktur tipe C adalah kombinasi tipe A dan B dan terdiri dari cabang amilopektin dan molekul amilopektin. Akan tetapi, juga sering dikatakan sebagai perantara antara struktur tipe A dan Tipe B. Struktur tipe C adalah satu-satunya rantai molekul yang memiliki kelompok pereduksi bebas (Cheetham dan Tao, 1998). Struktur daerah kristalin dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur daerah kristalin (Cheetham dan Tao, 2005)

Amilosa lebih mudah larut dalam air dibandingkan amilopektin. Semakin banyak molekul amilosa yang keluar dari granula pati maka kelarutan semakin tinggi. Oleh karena itu, pati dengan kandungan amilosa yang tinggi pada umumnya memiliki kelarutan yang tinggi pula. Namun, kandungan amilosa tidak selamanya berbanding lurus dengan kelarutan. Keberadaan kompleks antara amilosa dengan lipid seperti pada kacang-kacangan dapat mengurangi kelarutan amilosa (Kim *et al.*, 1996).

Semakin besar kandungan amilosa maka pati akan bersifat lebih kering, kurang lekat dan cenderung menyerap air lebih banyak. Absorpsi air disebabkan oleh gugus hidroksil pada amilosa. Terdapatnya gugus hidroksil yang bebas akan menyerap air, sehingga terjadi pembengkakan granula pati. Dengan demikian semakin banyak jumlah gugus hidroksil dari molekul pati maka kemampuan menyerap air semakin tinggi. Sedangkan semakin besar kandungan amilopektin maka pati akan lebih basah, lengket dan cenderung sedikit menyerap air (Richana dan Sunarti, 2004).

Selain absorpsi air, rasio amilosa yang tinggi dapat mempengaruhi viskositas. Kadar amilosa juga memiliki korelasi terhadap sifat retrogradasi pati. Fenomena ini biasa terjadi karena pada waktu gelatinisasi granula pati tidak mengembang secara maksimal, akibatnya energi untuk memutuskan ikatan hidrogen intermolekul kurang. Ketika pendinginan terjadi, amilosa dapat bergabung dengan cepat membentuk kristal yang tidak larut (Richana dan Sunarti, 2004).

Kadar amilosa yang tinggi menyebabkan produk kurang stabil pada suhu rendah dan dapat menyebabkan sineresis. Sineresis merupakan perpisahan antara gel pati dan air (Kusnandar, 2010). Terjadinya sineresis disebabkan amilosa mengalami retrogradasi yaitu molekul-molekul amilosa berikatan kembali satu sama lain (Winarno, 1991). Hasil penelitian menunjukkan bahwa amilosa dengan bobot molekul rendah yang dominan yaitu amilosa yang memiliki rantai pendek dominan, lebih mudah untuk berikatan kembali dan ikatannya sangat kuat, sehingga retrogradasi yang terjadi semakin besar. Adanya ikatan yang kuat antar amilosa selama retrogradasi menyebabkan semakin banyak air yang terpisah dari gel pati ketika gel pati diletakkan pada suhu ruang. Keluarnya air dalam jumlah besar selama proses retrogradasi menyebabkan sineresis yang tinggi (Abo *et al.*, 2010).

C. Pati Sagu

Pati sagu diperoleh dari empulur batang sagu dengan cara ekstraksi. Sifat dan kualitas pati sagu dipengaruhi oleh faktor genetik serta proses ekstraksinya, seperti peralatan, air yang digunakan, cara penyimpanan potongan batang sagu, dan penyaringan. Sagu sebagai bahan pokok memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bahan pangan lainnya, yaitu dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama, dapat dipanen dan diolah tanpa mengenal musim serta kecilnya resiko terkena penyakit tanaman (Djoefrie, 1999). Dibandingkan beras, jagung, ubi kayu

dan kentang, pati sagu mengandung nilai karbohidrat tertinggi dan nilai kalori dalam kategori sedang, namun tidak mengandung riboflavin, niasin, dan vitamin. Selengkapnya terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan nilai gizi sagu dibandingkan pangan lainnya

Komposisi	Sagu	Beras	Jagung	Ubi kayu	Kentang
Kalori (kal)	357.00	366.00	349.00	98.00	71.00
Protein (g)	1.40	0.40	9.1	0.70	1.70
Lemak (g)	0.20	0.80	4.20	0.10	0.10
Karbohidrat (%)	85.90	80.40	71.70	23.70	23.70
Kalsium (mg)	15.00	24.00	14.00	19.00	8.00
Besi (mg)	1.40	1.90	2.80	0.60	0.70
Teomin (mg)	0.01	0.10	0.29	0.04	0.09
Riboflavin	-	0.05	0.11	0.03	0.03
Niasin (mg)	-	2.10	2.10	0.40	1.40
Vitamin (mg)	-	0.0	0.00	21.00	16.00

Sumber : Direktorat Gizi Departemen Kesehatan (1995)

Pati sagu memiliki karakteristik yang berbeda bila dibandingkan dengan pati lain. Granula pati sagu memiliki bentuk oval dengan ukuran yang cukup besar. Bila dibandingkan dengan beberapa jenis pati lainnya, granula pati sagu mempunyai ukuran yang relatif besar yaitu mencapai rata-rata 24.8 μ m atau 25 μ m. Namun demikian, pati sagu mempunyai karakteristik yang lebih mendekati karakteristik pati umbi-umbian yaitu memiliki ukuran granula yang besar, memiliki indeks pembengkakan (*swelling power*) dan kelarutan (*solubility*) yang tinggi (Wattanachant *et al.*, 2003).

Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah mengeluarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai syarat mutu pati sagu seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Mutu Pati Sagu (SNI 01-3729-2008)

Karakteristik	Kriteria
Kadar air, % (b/b)	Maksimum 13
Kadar abu, % (b/b)	Maksimum 0.5
Kadar serat kasar, % (b/b)	Maksimum 0.1
Derajat asam (ml NaOH 1 N/100 g)	Maksimum 4
Kadar SO ₂ (mg/kg)	Maksimum 30
Jenis pati lain selain pati sagu	Tidak boleh ada
Kehalusan (lolos ayakan 100 mesh) % (b/b)	Minimum 95
<i>Total Plate Count</i> (koloni/g)	Maksimum 106

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2008)

Wirakartakusumah *et al.* (1984) mengemukakan bahwa pati sagu mengandung amilosa 27,4% dan amilopektin 72,6%. Pati sagu mempunyai daya mengembang sebesar 97%. Daya kembang pati sagu relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati lainnya. Suhu gelatinisasi pati sagu mempunyai kisaran, yaitu suhu awal gelatinisasi pati sagu adalah 64,3°C, suhu puncak gelatinisasi adalah 76,4°C dan suhu akhir gelatinisasi tercapai pada 82,3°C.

D. Produksi Sirup Glukosa

Sirup glukosa diperoleh dari proses hidrolisis pati dengan menggunakan katalis asam, enzim dan gabungan keduanya (Kusumawardhani, 2001). Hidrolisis secara enzimatik memiliki perbedaan mendasar dengan hidrolisis secara asam. Kelemahan dari hidrolisis asam antara lain peralatan yang digunakan harus tahan korosi karena katalis yang digunakan adalah asam kuat, menghasilkan sakarida dengan spektra tertentu saja karena katalis asam menghidrolisis secara acak, menyebabkan terjadinya degradasi karbohidrat maupun rekombinasi

produk degradasi yang dapat mempengaruhi rasa, warna dan dapat menimbulkan masalah teknis. Hidrolisis enzimatis mencegah terjadinya berbagai efek samping karena sifat enzim yang sangat spesifik, sehingga dapat mempertahankan warna dan rasa dari glukosa yang dihasilkan, dan yield yang dihasilkan tinggi. Namun biaya operasional hidrolisis enzimatis lebih tinggi (Dincbas dan Demirkan, 2010).

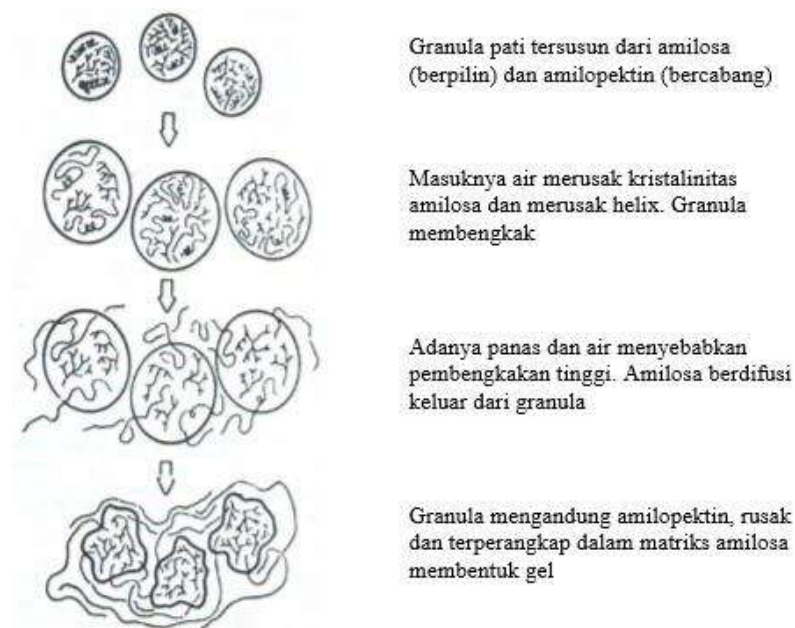
Hidrolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan bantuan air untuk memisahkan ikatan kimia dari substansinya. Sedangkan hidrolisis pati adalah proses pemecahan molekul amilum menjadi bagian-bagian penyusun amilum yang lebih sederhana seperti dekstrin, maltotriosa, maltosa dan glukosa (Terahara *et al.*, 2004). Proses hidrolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu enzim, ukuran partikel, temperatur, pH, waktu hidrolisis, perbandingan cairan terhadap bahan baku (volume substrat), dan pengadukan (Purba, 2009). Reaksi pada proses hidrolisis berlangsung sangat lambat sehingga diperlukan bantuan katalisator untuk memperbesar kereaktifan air. Katalisator ini bisa berupa asam maupun enzim (Retno dkk., 2009).

Dalam pemilihan sumber pati untuk pembuatan sirup glukosa harus dipertimbangkan kandungan amilosa dan amilopektinnya. Sumber pati dengan kandungan amilopektin tinggi lebih baik karena memiliki ISSP (*Insoluble Starch Particles*) lebih rendah sehingga dapat dihidrolisis secara asam maupun enzimatis. Menurut Richardson (2000), pati beramilopektin tinggi mempunyai rantai 1-4 glukosida yang lebih pendek dibanding pati

beramilosa tinggi. Hal ini akan berpengaruh terhadap suhu gelatinisasinya. Hidrolisis pati menjadi sirup glukosa melalui tiga tahapan, yaitu gelatinisasi, likuifikasi, dan sakarifikasi.

1. Tahap Gelatinisasi

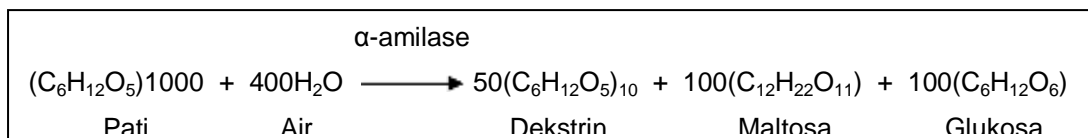
Gelatinisasi merupakan proses awalan sebelum likuifikasi. Gelatinisasi adalah proses pembengkakan granula pati akibat pemanasan dan adanya peningkatan volume oleh sehingga memutuskan ikatan hidrogen pada ikatan glikosida pati akibat. Pembengkakan granula tersebut bersifat *irreversible* atau tidak bisa kembali lagi ke bentuk semula. Likuifikasi yang dilakukan tanpa gelatinisasi terlebih dahulu akan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan substrat yang telah mengalami gelatinisasi (Mitsuiki dkk., 2005). Proses gelatinisasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses gelatinisasi pati (Harper, 1990)

2. Tahap Likuifikasi

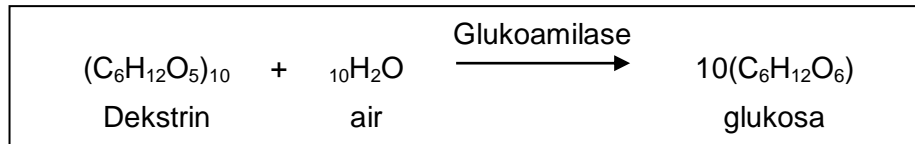
Likuifikasi merupakan proses pencairan gel pati untuk memperoleh viskositas yang lebih rendah dengan cara menghidrolisis pati menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dari oligosakarida atau dekstrin melalui bantuan enzim α -amilase (Jariyah, 2002). Enzim α -amilase akan aktif terhadap substrat berbentuk gel. Oleh karena itu, proses likuifikasi yang dilakukan tanpa digelatinisasi terlebih dahulu memerlukan waktu beberapa jam bila dibandingkan dengan adanya perlakuan gelatinisasi, proses likuifikasi dapat berlangsung selama beberapa menit sesuai dengan penambahan enzim yang digunakan (Misset, 2003). Proses likuifikasi membutuhkan kondisi pH 6-7 pada suhu antara 90-110 °C. Persamaan reaksi pada proses likuifikasi dapat dilihat pada persamaan berikut.



3. Tahap Sakarifikasi

Pada tahap sakarifikasi, dekstrin hasil likuifikasi akan dihidrolisis lebih lanjut oleh enzim tunggal (glukoamilase) maupun enzim campuran (glukoamilase dan pullulanase) yang biasa disebut *dextrozyme* untuk dikonversi menjadi glukosa. Proses sakarifikasi dapat dilakukan pada temperatur 55-66⁰C, pH 4-4.5 selama 24-72 jam dan dilanjutkan proses pemurnian baik secara filtrasi atau sentrifugasi

(Whitehurts dan Law, 2002). Persamaan reaksi pada proses sakarifikasi dapat dilihat pada persamaan berikut.



E. Enzim α -amilase

Enzim α -amilase terdapat pada tanaman, jaringan mamalia, dan mikroba. α -amilase murni dapat diperoleh dari berbagai sumber, misalnya dari malt (barley), ludah manusia, pankreas serta dapat juga diisolasi dari *Aspergillus oryzae* dan *Bacillus subtilis*. Mikroorganisme yang paling banyak menghasilkan enzim α -amilase dan paling banyak digunakan adalah kapang dan bakteri seperti *Aspergillus oryzae*, *Bacillus amyloliquefaciens*, dan *Bacillus licheniformis*. Enzim α -amilase yang berasal dari *Bacillus licheniformis* cenderung lebih termostabil (Sivaramakrishnan *et al.*, 2006).

Enzim α -amilase (α -1,4 glukon-4-glukan hidrolase) adalah endoenzim yang bekerjanya memutus ikatan α -1,4 di bagian dalam molekul baik pada amilosa maupun amilopektin (Risnoyatiningsih, 2011). Enzim α -amilase merupakan enzim ekstraseluler yang mampu memotong ikatan 1,4- α -glikosidik antara monomer glukosa pada rantai linier amilosa menghasilkan oligosakarida seperti maltosa, glukosa, dan α -dekstrin. Dekstrin tersebut kemudian dipotong-potong lagi menjadi campuran antara glukosa, maltosa, maltotriosa, dan ikatan lain yang lebih panjang.

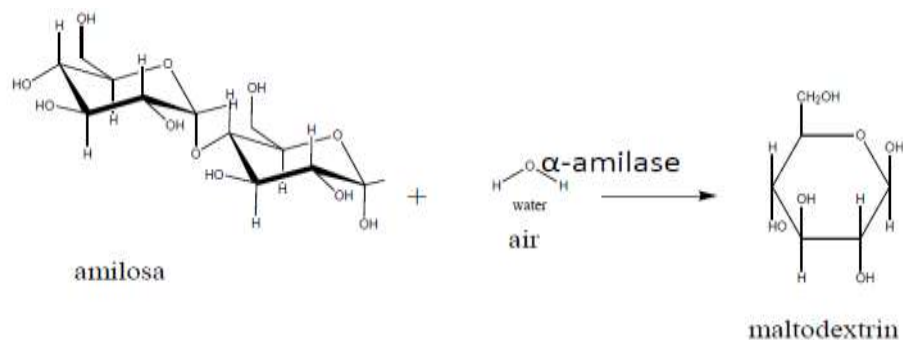
Perbedaan waktu hidrolisis akan menyebabkan jumlah pati yang termodifikasi juga berbeda. Makin lama waktu hidrolisis makin besar persentase pati yang berubah menjadi gula pereduksi. Hal ini dapat dilihat dari harga DE yang semakin tinggi (Pandey *et al.*, 2000).

Enzim α -amilase mempunyai suhu optimum 80°C-110°C dan pH optimum 5,0-7,0 akan tetapi pH optimum dapat berbeda-beda tergantung dari sumber penghasil enzimnya (Risnoyatiningsih, 2011). Aktivitas optimum α -amilase secara normal berada pada pH 4,8-6,5, dan suhu 60°C. Akan tetapi, enzim α -amilase yang berasal dari bakteri termostabil cenderung lebih stabil pada temperatur 100°C-110 °C lebih tinggi dari temperatur kerja enzim α -amilase yang dihasilkan bakteri biasa seperti *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus licheniformis* dan *Bacillus amyloliquefaciens* (Sundaram dan Murthy, 2014).

Enzim ini mempunyai rantai peptida tunggal pada gugusan proteinnya dan setiap molekul mengandung satu gram atom Ca. Adanya kalsium yang berikatan dengan molekul protein enzim, membuat enzim α -amilase bersifat relatif tahan terhadap suhu, pH, dan senyawa seperti urea (Sundaram dan Murthy, 2014). Aktivitas enzim α -amilase menyebabkan pati terputus-putus dengan rantai sepanjang 6-10 unit glukosa. Banyaknya hidrolisis ikatan glukosida dari pati biasanya dijelaskan dengan *dextrose equivalent* (DE) (Yunianta dkk., 2010).

Cara kerja amilase α -amilase terjadi melalui dua tahap yaitu pertama degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi

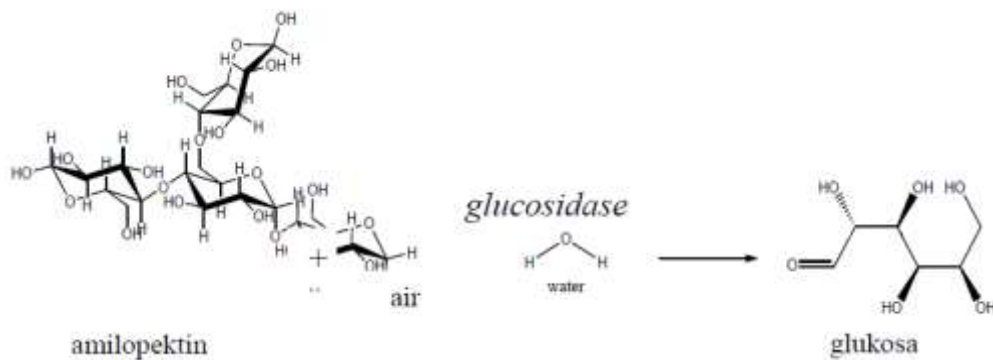
secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas dengan cepat. Tahap kedua relatif lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir secara tidak acak. Keduanya merupakan kerja enzim α -amilase pada molekul amilosa saja. Enzim α -amilase menghidrolisis amilosa lebih cepat dibanding hidrolisisnya terhadap amilopektin. Kerja α -amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa dan berbagai jenis limit dekstrin yaitu oligosakarida yang terdiri dari empat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung α -1,6-glikosidik. Skema kerja enzim α -amilase dapat dilihat pada persamaan berikut.



F. Enzim Glukoamilase

Glukoamilase merupakan salah satu enzim yang banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman, misalnya pada pembuatan sirup glukosa. Enzim ini dihasilkan oleh mikroorganisme baik dari jenis bakteri, ragi dan kapang. Enzim amiloglukosidase/glukoamilase adalah salah satu yang berperan dalam proses sakarifikasi pati. Serupa dengan enzim β -amilase, glukoamilase dapat memecah struktur pati yang merupakan

polisakarida kompleks berukuran besar menjadi molekul yang berukuran kecil. Kelebihan enzim ini yaitu selain memutus ikatan α -1,4 glikosida, juga memutus ikatan α -1,6 glikosida, oleh karena itu enzim ini dapat mengkonversi seluruh pati menjadi glukosa.. Pada umumnya, enzim ini bekerja pada suhu 45-60°C dengan kisaran pH 4,5-5,0. Produk akhir yang dihasilkan dari enzim ini yaitu glukosa. Enzim ini memiliki peranan yang cukup besar di dalam metabolisme energi di berbagai jenis organisme (Azwar dan Erwanti, 2009). Skema kerja glukamilase dapat dilihat pada persamaan berikut.



G. Sirup Glukosa

Sirup glukosa adalah cairan kental dan jernih dengan komponen utama glukosa yang diperoleh dari hidrolisis pati dengan cara kimia atau enzimatik (Badan Standardisasi Nasional, 1992). Sirup glukosa mempunyai tingkat kemanisan yang lebih rendah dibandingkan dengan gula pasir, tetapi stabil pada suhu tinggi, resisten terhadap kristalisasi dan tidak mudah mengalami kecoklatan saat pemanasan. Pada perdagangan dikenal empat jenis sirup glukosa berdasarkan nilai DE-nya yaitu jenis 1

(DE 20-38), jenis 2 (DE 38-58), jenis 3 (DE 58-73) dan jenis 4 (DE > 73) (Kusumawardhani, 2001).

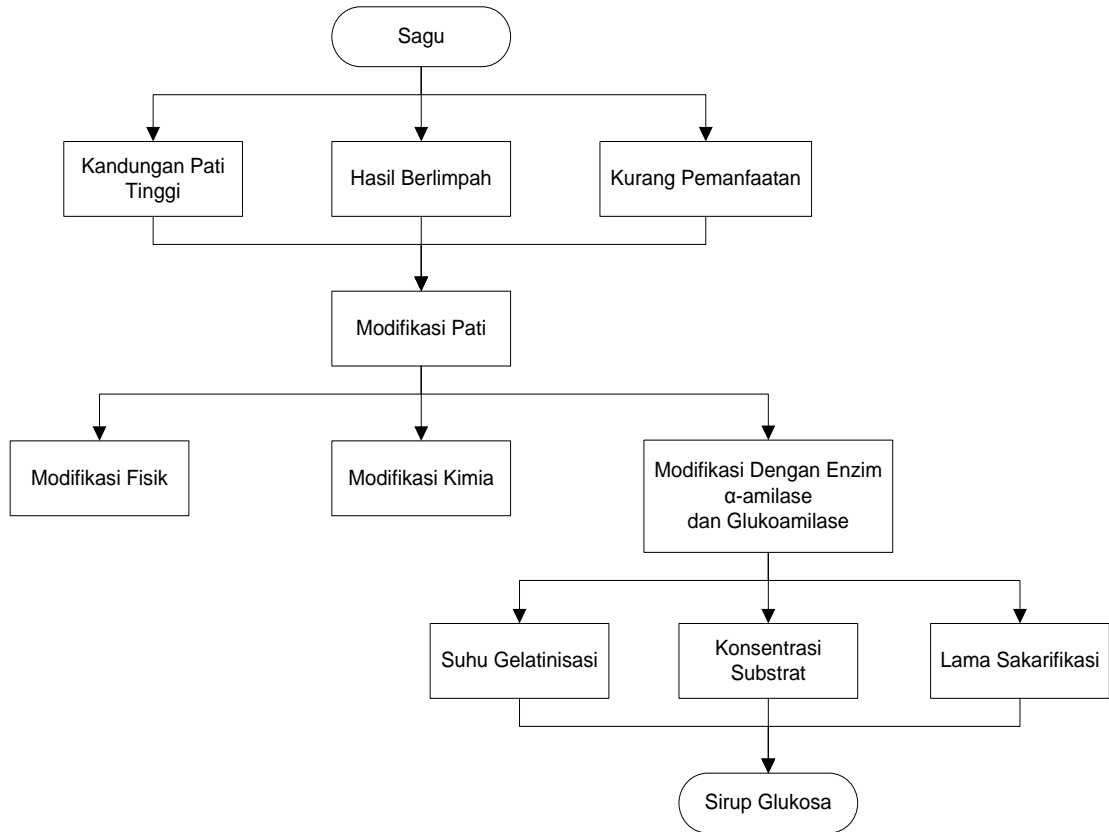
Tingkat mutu sirup glukosa yang dihasilkan ditentukan oleh tingkat konversi pati menjadi komponen-komponen glukosa, maltosa dan dekstrin yang dikenal sebagai dekstrose ekuivalen (DE). Nilai DE larutan yang tinggi menunjukkan kadar glukosa yang tinggi dan kadar dekstrin yang rendah. Menurut de Man (1997), sirup glukosa mempunyai dekstrose ekuivalen (DE) 20 atau lebih. Jika kurang dari 20, produknya disebut maltodextrin. Tingkat mutu sirup glukosa ditentukan oleh kadar bahan kering sirup, kadar abu dan beberapa logam berat yang terkandung didalamnya. Tabel mutu sirup glukosa menurut SNI (1992) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar Mutu Sirup Glukosa Menurut SNI 01-2978-1992

No.	Kriteria Uji	Satuan Uji	Persyaratan
1.	Keadaan :		
	1.1 Bau		Tidak berbau
	1.2 Rasa		Manis
	1.3 Warna		Tidak berwarna
2.	Air	% b/b	Maks. 20
3.	Abu	% b/b	Maks. 1
4.	Gula pereduksi dihitung sebagai D-Glukosa	% b/b	Min. 30
5.	Pati		Tidak ada
6.	Cemaran Logam :	ppm	
	6.1 Timbal	ppm	Maks. 1
	6.2 Tembaga	ppm	Maks. 10
	6.3 Seng		Maks. 25
7.	Arsen	Ppm	Maks. 0,5
8.	Cemaran mikroba:		
	8.1 Angka lempeng total	Koloni/g	Maks. 5×10^2
	8.2 Bakteri <i>coliform</i>	APM/g	Maks. 20
	8.3 <i>E. coli</i>	APM/g	Kurang dari 3
	8.4 Kapang	Koloni/g	Maks. 50
	8.5 Khamir	Koloni/g	Maks. 50

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (1992)

H. Kerangka Pikir



Gambar 7. Kerangka Pikir Penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2017 – Maret 2018 bertempat di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Pangan dan Laboratorium Kimia dan Analisis Pangan, Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrofotometer, oven, *hotplate*, *autoclave*, termometer, pH meter, timbangan analitik, desikator, kulkas, *vortex*, *stopwatch*, botol, batang pengaduk, gelas ukur, erlenmeyer, tabung reaksi, rak tabung reaksi, pipet tetes, mikro pipet, tip pipet, labu takar, *magnetic stirrer*, *hand refraktometer* dan gelas piala.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tepung sagu, aquades, enzim α -amilase, enzim glukamilase, asam dinitrolisilat (DNS), Pb, PbAsetat, Natrium Karbonat, Natrium Metadisulfit, Na-K Tatrak, glukosa standar, Fenol, kertas label, tisu, dan aluminium foil.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas tahap persiapan bahan baku, gelatinisasi, likuifikasi dan sakarifikasi.

1. Persiapan bahan baku

Tepung sagu yang akan digunakan dikeringkan terlebih dahulu menggunakan blower. Setelah tepung sagu kering kemudian diuji kadar airnya lalu disimpan dalam wadah kedap udara.

2. Gelatinisasi

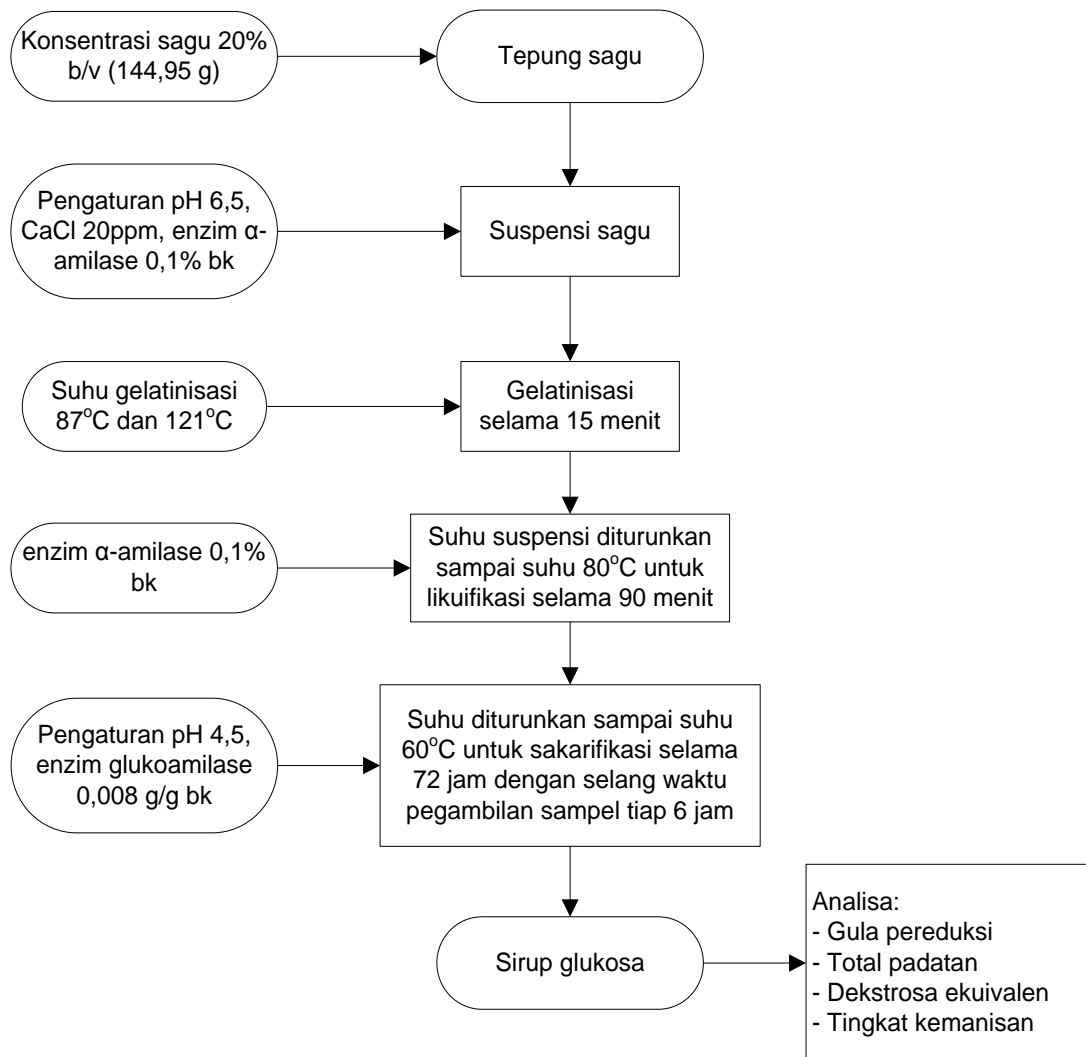
Konsentrasi sagu sesuai perlakuan dibuat dalam volume 650ml dengan menambahkan aquades. Lalu ditambahkan kofaktor CaCl_2 20 ppm sebanyak 0.65 ml dan suspensi diatur pada pH 6.0-6.5 dengan menambahkan larutan asam atau basa. Suspensi sagu kemudian dipanaskan dan ditambahkan enzim α -amilase sebanyak 0.1% (bk) dan saat suhu pemanasan telah mencapai suhu perlakuan maka suhunya dipertahankan selama 15 menit. Tahap ini akan meyebabkan struktur kristalin pada pati pecah sehingga memudahkan tahap likuifikasi.

3. Likuifikasi

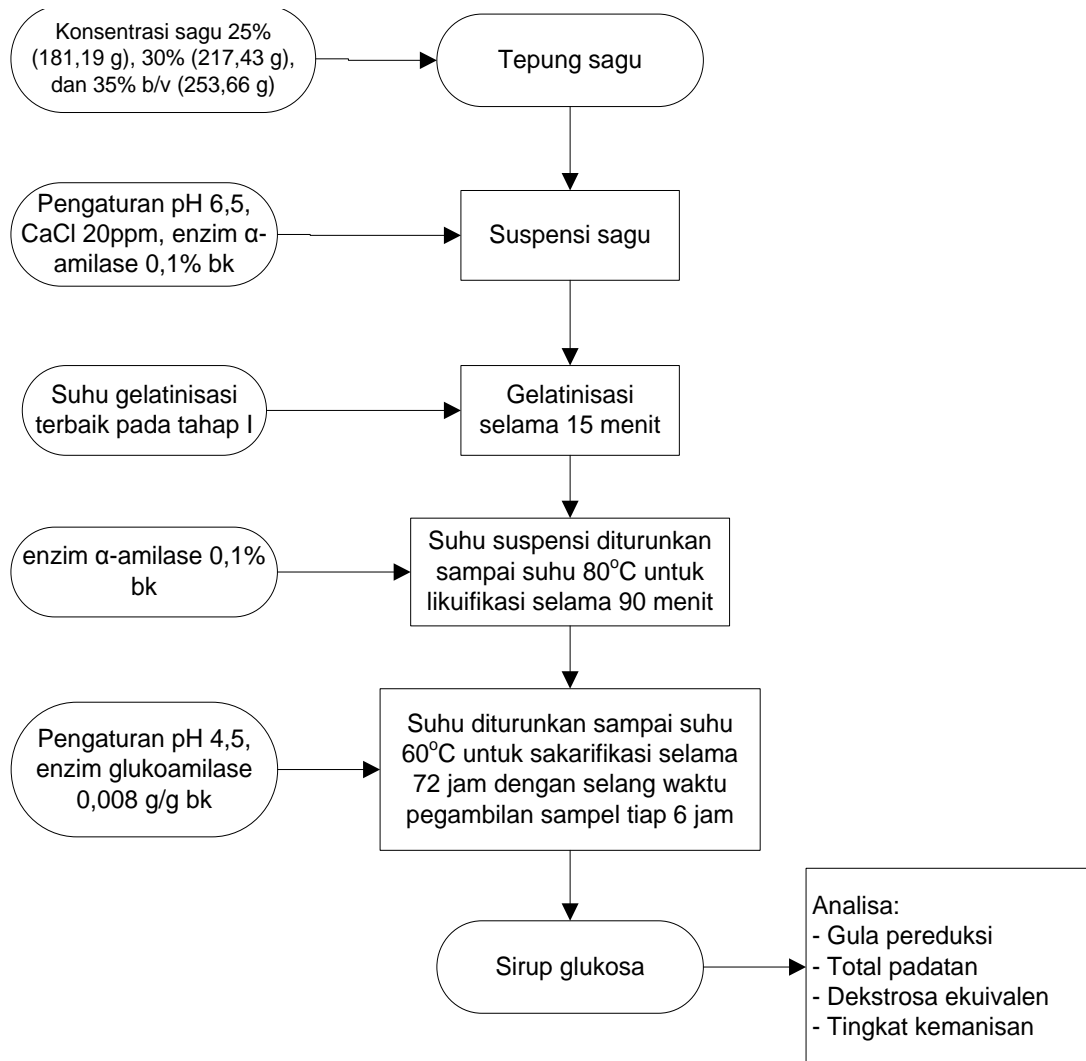
Suhu suspensi kemudian diturunkan menjadi 80°C dan suspensi ditambahkan enzim α -amilase sebanyak 0.1% (bk). Proses pengadukan dilakukan selama 90 menit. Pada tahap ini diperoleh hasil berupa maltodekstrin.

4. Sakarifikasi

Setelah 90 menit proses likuifikasi, maka suhu suspensi didinginkan dan dilakukan pengaturan pH untuk dilanjutkan ke tahap sakarifikasi. pH suspensi diatur pada pH 4.5 dengan penambahan larutan asam atau basa. Kemudian suspensi dipanaskan hingga mencapai suhu 60°C dan dilakukan penambahan enzim glukoamilase 0.008 g/ g bk dan dilakukan pengadukan selama \pm 5 menit. Suspensi kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer untuk diinkubasi dalam *shaker waterbath* selama 72 jam. Pengambilan sampel dilakukan setiap 6 jam.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian Tahap I



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian Tahap II

D. Desain Penelitian

Desain penelitian ini terdiri dari 2 tahap yakni pengaruh penggunaan suhu gelatinisasi (87°C dan 121°C) terhadap lama reaksi sakarifikasi (0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 dan 72 jam). Hasil terbaik dari perlakuan suhu gelatinisasi dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu perlakuan konsentrasi substrat (25%, 30%, dan 35%) terhadap lama reaksi sakarifikasi (0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 dan 72 jam).

A : Suhu pemecahan kristal pati

A1 : 87°C

A2 : 121°C

B : Lama reaksi sakarifikasi

B0 : kontrol

B7 : 42 jam

B1 : 6 jam

B8 : 48 jam

B2 : 8 jam

B9 : 54 jam

B3 : 18 jam

B10 : 60 jam

B4 : 24 jam

B11 : 66 jam

B5 : 30 jam

B12 : 72 jam

B6 : 36 jam

Hasil perlakuan suhu gelatinisasi terbaik yang didapatkan pada tahap I akan digunakan pada tahap II.

X : Konsentrasi substrat

X1 : 25%

X3 : 35%

X2 : 30%

Y : Lama reaksi sakarifikasi

Y0 : kontrol	Y6 : 36 jam	Y12 : 72 jam
Y1 : 6 jam	Y7 : 42 jam	
Y2 : 8 jam	Y8 : 48 jam	
Y3 : 18 jam	Y9 : 54 jam	
Y4 : 24 jam	Y10 : 60 jam	
Y5 : 30 jam	Y11 : 66 jam	

E. Parameter Pengamatan

1. Total Padatan

Penentuan total padatan dihitung dengan menggunakan metode kadar air (Andarwulan dkk., 2011). Adapun prosedur analisa dilakukan dengan cara:

- a) Cawan dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama 30 menit dan didinginkan dalam desikator selama 20 menit.
- b) Sebanyak 2 g sampel ditimbang ke dalam cawan kering,
- c) Cawan yang berisi sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 6 jam. Kemudian ditimbang dan dioven kembali, pengovenan dan penimbangan dianggap selesai bila konstan. Bobot dianggap konstan apabila selisih penimbangan tidak melebihi 0,5 mg.

d) Kadar air dalam bahan dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan :

$$\% \text{ kadar air (basis basah)} = \frac{b-(c-a)}{b} \times 100$$

Dimana:

a = berat cawan kering yang sudah konstan

b = berat sampel awal

c = berat cawan dan sampel kering yang sudah konstan

Total Padatan dihitung dengan rumus:

Total padatan = 100% - % kadar air

2. Kadar Gula Pereduksi Metode DNS (Miller dalam Ardiansyah, 2007)

Prinsip metode DNS bahwa dalam suasana basa (alkali), gula pereduksi akan mereduksi 3,5-dinitrosalisilat (DNS) dan membentuk senyawa yang absorbansinya dapat diukur dengan panjang gelombang 550 nm. Adapun metode pengujian kadar gula pereduksi yaitu:

a) Pembuatan Pereaksi DNS (asam 3,5-dinitro salisilat)

Dalam 1416 ml aquades ditambahkan 10.6 g DNS, 19.8 gram NaOH, 8.3 g Na-metabisulfit, 306 g NaK-tartarat, 7.6 ml fenol cair suhu 105°C. Bahan-bahan tersebut dicampur hingga larut.

b) Pembuatan Kurva Standar

Kurva standar dibuat menggunakan glukosa standar. Sebanyak 0,1 gram glukosa standar dilarutkan dalam 100 ml aquades. Kurva standar dibuat pada konsentrasi 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 dan 225 ppm.

c) Penjernihan Sampel

Sebelum dianalisa, sampel dijernihkan terlebih dahulu menggunakan larutan penjernih PBO dan NaCO_3 . Sebanyak 1 ml sampel dipipet ke dalam tabung penjernihan lalu ditambahkan 0,25 ml larutan PBO dan 0,25 ml larutan NaCO_3 . Larutan tersebut kemudian disentrifugasi pada 5000 rpm selama 30 menit.

d) Pengukuran Kadar Gula Pereduksi

Sampel yang telah dijernihkan kemudian dipipet 1 ml ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 3 ml DNS. Larutan dipanaskan dalam air mendidih selama 5 menit dan segera dinginkan. Analisa kadar gula pereduksi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 550 nm.

3. Dekstrosa Equivalen (Yunianta dkk., 2015)

Dekstrosa equivalen (DE) adalah perbandingan kadar gula pereduksi dengan total padatan terlarut, dinyatakan dalam persen. Perolehan nilai DE dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$DE = \frac{\sum \text{gula pereduksi yang terbentuk (b/v)}}{\sum \text{total padatan (b/v)}} \times 100\%$$

4. Tingkat kemanisan ($^{\circ}\text{Brix}$) (Apriyantono, 1989)

Tingkat kemanisan diuji dengan menggunakan alat *handrefraktometer*. Cara mengukur tingkat kemanisan suatu sampel yaitu, sampel dipipet dengan menggunakan pipet tetes kemudian ditetesi pada permukaan *handrefraktometer* kemudian dilihat angka yang terlihat pada alat tersebut.

F. Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial yang terdiri dari 2 tahap. Penelitian tahap pertama terdiri dari 2 faktor yaitu faktor A (suhu gelatinisasi) terhadap faktor B (lama reaksi sakarifikasi). Penelitian tahap kedua terdiri dari 2 faktor yaitu faktor X (konsentrasi substrat) terhadap faktor Y (lama reaksi sakarifikasi). Setiap perlakuan diulang sebanyak dua kali ulangan. Apabila hasilnya berpengaruh nyata maka akan dilakukan uji lanjut Duncan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sirup glukosa adalah cairan kental dan jernih dengan komponen utama glukosa yang diperoleh dari hidrolisis pati dengan cara kimia atau enzimatik (SNI 01-2978-1992). Sirup glukosa yang dihasilkan secara enzimatik merupakan hasil dari hidrolisa pati menggunakan enzim α -amilase dan glucoamilase sebagai biokatalis. Sirup glukosa mempunyai keunggulan tidak dapat mengalami kristalisasi saat pemanasan pada suhu tinggi serta memiliki kelarutan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sukrosa (Tjokroadikoesoemo, 1993).

A. Penelitian Tahap I

Penelitian tahap I adalah penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan variasi suhu gelatinisasi sagu dengan menggunakan suhu 87°C dan 121°C. Setelah mencapai suhu gelatinisasi, suhu suspensi dipertahankan selama 15 menit sebelum dilanjutkan ke tahap likuifikasi. Pada tahap likuifikasi, suhu suspensi diturunkan menjadi 80°C dan dilakukan proses pengadukan selama 90 menit. Proses kemudian dilanjutkan ke tahap sakarifikasi, pada tahap ini suhu suspensi diturunkan kembali menjadi 60°C dan proses ini berlangsung selama 72 jam dengan selang waktu pengambilan sampel setiap 6 jam. Setiap sampel kemudian dianalisa terhadap parameter uji yaitu gula pereduksi, total padatan, dektrosa ekuivalen, dan tingkat kemanisan. Penggunaan variasi suhu

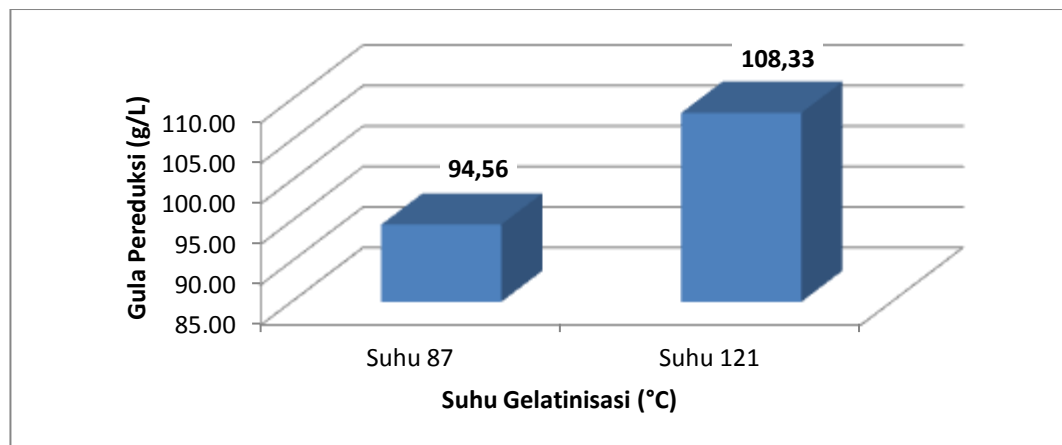
gelatinisasi yang paling optimal dan efisien pada tahap ini akan digunakan dalam penelitian tahap II.

A.1. Gula Pereduksi

Gula reduksi adalah semua gula yang memiliki kemampuan untuk mereduksi dikarenakan adanya gugus aldehid atau keton bebas sehingga mempunyai kemampuan untuk mereduksi suatu senyawa-senyawa penerima elektron (Nielsen, 2010). Contoh gula yang termasuk gula reduksi adalah glukosa, manosa, fruktosa, laktosa dan maltosa (Sudarmadji dkk., 2007). Pengukuran gula pereduksi dimaksudkan untuk memperoleh gambaran mengenai pengaruh variasi suhu gelatinisasi terhadap banyaknya gula pereduksi yang terbentuk.

Perolehan gula pereduksi pada variasi penggunaan suhu gelatinisasi cenderung meningkat baik pada suhu 87°C maupun pada suhu 121°C. Hasil analisa gula pereduksi yang diperoleh dengan penggunaan suhu 87°C berkisar antara 77,51 g/L hingga 111,83 g/L dan nilai gula pereduksi dengan penggunaan suhu 121°C berkisar antara 87,90 g/L hingga 129,42 g/L (Lampiran 3a). Sedangkan rentang nilai rata-rata gula pereduksi sirup glukosa berkisar antara 83,55 g/L hingga 118,23 g/L (Lampiran 3b). Dari hasil analisa juga diperoleh nilai rata-rata kadar gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 121°C sebesar 108,34 g/L lebih tinggi dibandingkan dengan nilai gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 87°C dengan nilai 94,56 g/L (Lampiran 3b).

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig}<0,05$) terhadap nilai gula pereduksi yang dihasilkan sehingga dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 3c). Sedangkan interaksi antara variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig}>0,05$) terhadap gula pereduksi yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan gula pereduksi pada setiap penggunaan variasi suhu gelatinisasi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hubungan Variasi Suhu Gelatinisasi terhadap Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Perolehan gula pereduksi pada perlakuan suhu 121°C lebih tinggi (108,33 g/L) dibandingkan suhu 87°C (95,46 g/L), hal ini ditunjukkan dalam Gambar 10. Pati sagu terdiri dari struktur amilosa dan amilopektin, dimana struktur amilosa yang lurus cenderung berada pada bagian amorf dari granula pati. Sementara itu, amilopektin yang dapat membentuk struktur *double helix* bertanggung jawab terhadap bagian kristalin granula pati. Amorf merupakan bagian pati yang longgar sehingga mudah untuk

dihidrolisis oleh enzim. Sedangkan kristalin merupakan bagian pati dengan struktur yang lebih kokoh dan kuat sehingga sulit untuk dihidrolisis oleh enzim, dengan kata lain proses hidrolisis terjadi secara lambat di daerah kristalin. Oleh karena itu, untuk menghidrolisis pati di daerah kristalin terlebih dahulu harus dilakukan pemecahan daerah kristal dengan perlakuan termal. Agar membuat pati siap diakses oleh enzim, maka pati harus digelatinisasi terlebih dahulu.

Selama gelatinisasi, terjadi perubahan seperti pembengkakan granula pati. Amilosa dan amilopektin dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Saat granula pati dipanaskan di dalam air, energi panas akan menyebabkan ikatan hidrogen pada granula pati tidak stabil sehingga air masuk ke dalam granula dan berikatan dengan amilosa dan amilopektin. Molekul air yang berikatan dengan molekul amilosa dan amilopektin akan menyebabkan granula pati membengkak dan setelah mencapai batas tertentu, granula pati akan pecah sehingga molekul amilosa dan amilopektin dapat berdifusi keluar yang ditandai dengan pembentukan gel pati.

Pada saat amilosa dan amilopektin berdifusi dari granula dan suspensi pati membentuk gel, enzim α -amilase dapat lebih cepat menghidrolisis. Proses ini ditandai dengan penurunan viskositas pati, karena molekul pati baik amilosa maupun amilopektin mengalami pemecahan sehingga dihasilkan oligosakarida dan dekstrin dengan molekul relatif kecil. Setiap rantai gula yang terhidrolisis memiliki satu

gugus gula pereduksi sehingga semakin banyak pati yang terhidrolisis menjadi gula rantai sederhana maka jumlah gula pereduksi juga semakin tinggi. Hal ini secara langsung meningkatkan jumlah gula pereduksi yang terbentuk. Sehingga semakin tinggi suhu gelatinisasi yang digunakan dapat menghasilkan gula pereduksi yang semakin tinggi pula.

Pomeranz (1988, dalam Imanningsih, 2012) menyatakan, bahwa saat pati dipanaskan beberapa *double helix* fraksi amilopektin merenggang dan terlepas saat ada ikatan hidrogen yang terputus. Jika suhu yang lebih tinggi diberikan, ikatan hidrogen akan semakin banyak yang terputus, menyebabkan air terserap masuk ke dalam granula pati. Pada proses ini, molekul amilosa terlepas ke fase air yang menyelimuti granula, sehingga struktur dari granula pati menjadi lebih terbuka, dan lebih banyak air yang masuk ke dalam granula, menyebabkan granula membengkak dan volumenya meningkat. Molekul air kemudian membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil gula dari molekul amilosa dan amilopektin. Di bagian luar granula, jumlah air bebas menjadi berkurang, sedangkan jumlah amilosa yang terlepas meningkat. Molekul amilosa cenderung untuk meninggalkan granula karena strukturnya lebih pendek dan mudah larut.

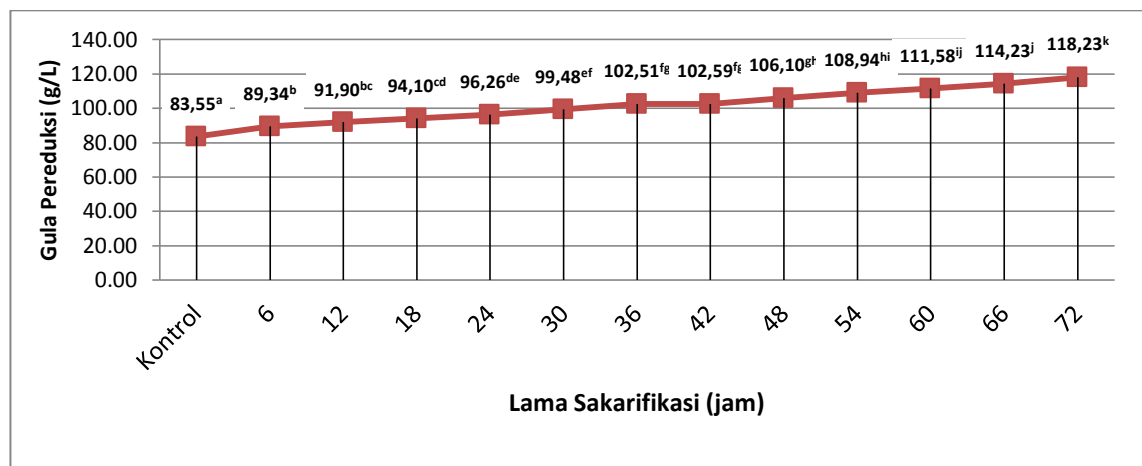
Belitz dan Grosch (1999) menyatakan, bahwa semakin tinggi energi panas, jaringan kristal yang meleleh akan menjadi rusak dan melarutkan bagian amilosa dan amilopektin. Kelarutan amilosa pada bagian kristal mengakibatkan bagian amorf menjadi rusak tidak stabil. Lebih lanjut

dijelaskan oleh Huang dan Liu (2009), pada granula pati terjadi pembengkakan yang *irreversible* dalam air, karena energi kinetik molekul air lebih kuat dari pada daya tarik molekul pati sehingga air dapat masuk ke dalam granula pati. Proses kenaikan suhu bahan yang direbus dipengaruhi oleh kecepatan transfer panas dari air perebusan ke bahan yang terjadi secara konveksi, dan transfer panas dalam bahan terjadi secara konduksi.

Beberapa penelitian telah dilakukan dan menunjukkan bahwa penggunaan suhu tinggi dapat meningkatkan perolehan gula pereduksi, salah satunya adalah hasil penelitian Sukoyo dkk. (2014) mengenai suhu pengolahan vakum gula kelapa cair yaitu semakin tinggi suhu yang digunakan dalam pengolahan gula kelapa cair maka akan meningkatkan total gula reduksi pada gula kelapa cair.

Nilai gula pereduksi yang dihasilkan meningkat seiring lama waktu sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai gula pereduksi sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai gula pereduksi umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata yaitu pada kontrol ke lama reaksi 6 jam, 6 jam ke 18 jam, 12 jam ke 24 jam, 18 jam ke 30 jam, 24 jam ke 36 dan 42 jam, 30 jam ke 48 jam, 36 dan 42 jam ke 54 jam, 48 jam ke 60 jam, 54 jam ke 66 jam, serta 60 dan 66 jam ke 72 jam (Lampiran 3d). Gambar dibawah menunjukkan hubungan rata-rata gula pereduksi yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai gula pereduksi pada penggunaan suhu gelatinisasi

87°C dan 121°C terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan gula gereduksi pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai gula pereduksi pada sirup glukosa meningkat seiring dengan peningkatan lama sakarifikasi, dimana peningkatan dimulai dari 0 jam (kontrol) dengan nilai gula pereduksi sebesar 83,55 g/L dan terus meningkat hingga mencapai lama reaksi 72 jam dengan nilai gula pereduksi sebesar 118,23 g/L. Peningkatan gula pereduksi terjadi seiring bertambahnya lama sakarifikasi diakibatkan oleh semakin lamanya kontak antara pati sagu (substrat) dan enzim yang digunakan.

Enzim α -amilase dan glucoamilase berperan dalam perombakan pati sagu menjadi gula sederhana. Enzim α -amilase berperan menghidrolisis pati sagu dengan memotong ikatan α -1,4 glikosidik pada amilosa dan amilopektin dalam pati sagu secara acak. Sedangkan enzim

glukoamilase selain memutus ikatan α -1,4 glikosidik, juga memutus ikatan α -1,6 glikosidik. Hidrolisis enzim α -amilase dan enzim glukoamilase secara bersama-sama menghasilkan gula pereduksi seperti glukosa, maltosa, dekstrin, maltosa, maltotriosa dan maltotetrosa. Semakin lama waktu yang digunakan dalam proses sakarifikasi maka semakin banyak kontak yang terjadi antara enzim terhadap pati sagu sehingga pemutusan ikatan α -1,4 glikosidik dan α -1,6 glikosidik pada amilosa dan amilopektin pada pati sagu semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan karena semakin lama proses reaksi maka aktivitas enzim semakin optimal. Setiap rantai gula yang terhidrolisis memiliki satu gugus gula pereduksi sehingga semakin banyak pati yang terhidrolisis menjadi gula rantai sederhana maka jumlah gula pereduksi juga semakin tinggi.

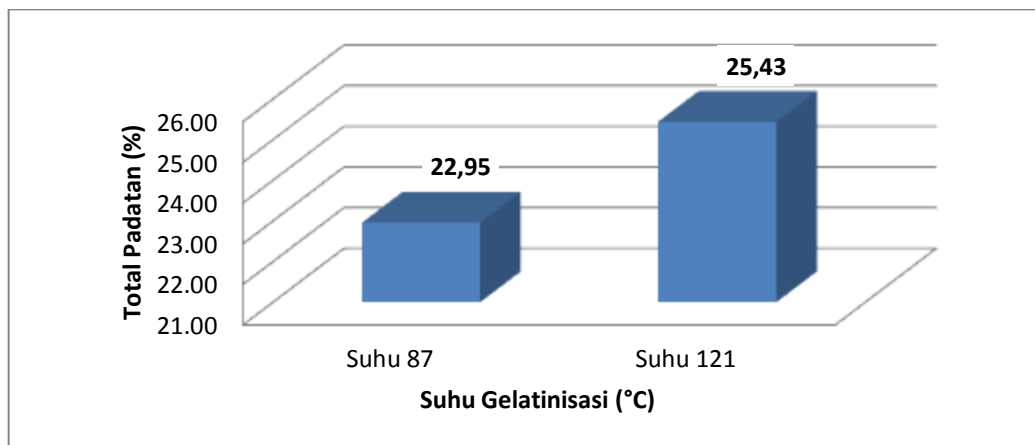
Soeroso dkk. (2008) menyatakan, bertambahnya perolehan glukosa yang dihasilkan disebabkan semakin lama dilakukan hidrolisis maka terjadinya kesempatan tumbukan antara molekul air dengan molekul-molekul pati akan semakin lama sehingga akan menghasilkan glukosa yang semakin banyak. Lehninger (1997) juga menyatakan, bahwa semakin lama waktu reaksi maka kerja enzim juga akan semakin optimum. Lebih lanjut menurut Ni'maturohmah dan Yuniarta (2015), seiring meningkatnya lama reaksi maka semakin banyak pati yang terhidrolisis dan meningkatnya aktivitas enzim untuk memecah ikatan-ikatan glikosidik menjadi gula sederhana yang menyebabkan jumlah gula reduksi semakin meningkat.

A.2. Total Padatan

Total padatan merupakan keseluruhan jumlah padatan yang tersuspensi atau larut dalam air dan menjadi salah satu indikasi akan kualitas pangan (Virlandia, 2008 dalam Mukarramah dkk., 2016). Lebih lanjut menurut Desrosier (1988), total padatan terlarut merupakan suatu ukuran dari jumlah material yang dilarutkan dalam air. Kandungan total padatan terlarut suatu bahan meliputi gula reduksi, gula non reduksi, asam organik, pektin dan protein. Total padatan berhubungan erat dengan kadar air, semakin tinggi kadar air maka semakin rendah total padatan (Yusmarini dkk., 2003). Total padatan diperoleh dengan mengeringkan sampel menggunakan prinsip kadar air.

Perolehan total padatan pada variasi penggunaan suhu gelatinisasi cenderung meningkat baik pada suhu 87°C maupun pada suhu 121°C. Hasil analisa nilai total padatan yang diperoleh dengan penggunaan suhu 87°C berkisar antara 20,10% hingga 24,88% dan nilai total padatan dengan penggunaan suhu 121°C berkisar antara 22,19% hingga 27,76% (Lampiran 4a). Sedangkan rentang nilai rata-rata total padatan sirup glukosa berkisar antara 21,55% hingga 25,92% (Lampiran 4b). Dari hasil analisa juga diperoleh nilai rata-rata kadar gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 121°C sebesar 25,43% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 87°C dengan nilai 22,95% (Lampiran 4b).

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig}<0,05$) terhadap nilai total padatan yang dihasilkan sehingga dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 4c). Sedangkan interaksi antara variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig}>0,05$) terhadap nilai total padatan yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan nilai total padatan pada setiap penggunaan variasi suhu gelatinisasi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan antara Variasi Suhu Gelatinisasi terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu gelatinisasi yang digunakan maka total padatan yang dihasilkan pun semakin meningkat, dimana perolehan total padatan pada suhu 121°C sebesar 25,43% lebih tinggi dibandingkan suhu 87°C sebesar 22,95%. Semakin tinggi suhu gelatinisasi maka kadar air pada suspensi sagu mengalami penurunan karena terjadi proses penguapan. Proses pemanasan menyebabkan pati sagu mengalami gelatinisasi dimana molekul granula

dari pati menyerap air. Proses penguapan juga dapat diakibatkan karena terjadinya perbedaan kadar uap antara air pada suspensi dengan uap air pada lingkungan. Adanya perbedaan kadar uap air tersebut karena suspensi terpapar panas dari *hotplate* atau *autoclave* selama proses gelatinisasi berlangsung. Kadar uap air pada suspensi umumnya lebih besar dibandingkan kadar uap air di lingkungan sehingga terjadi perpindahan air dari suspensi ke lingkungan. Air yang menguap akan menyisakan total padatan pada suspensi.

Fitriani (2008) menyatakan, bahwa semakin lama waktu pemasakan maka kadar air akan menurun, menyebabkan penguapan air lebih banyak sehingga kadar air dalam bahan semakin kecil. Penguapan tersebut juga diakibatkan karena terjadinya perbedaan tekanan uap antara air pada bahan dengan uap air pada udara. Tekanan uap air pada bahan pada umumnya lebih besar dari tekanan uap air di udara sehingga terjadi perpindahan massa air dari bahan ke udara. Hal ini juga didukung dengan pernyataan Agus (2012), adanya penguapan air selama pemanasan menyebabkan kadar air menurun dan konsentrasi padatan akan meningkat.

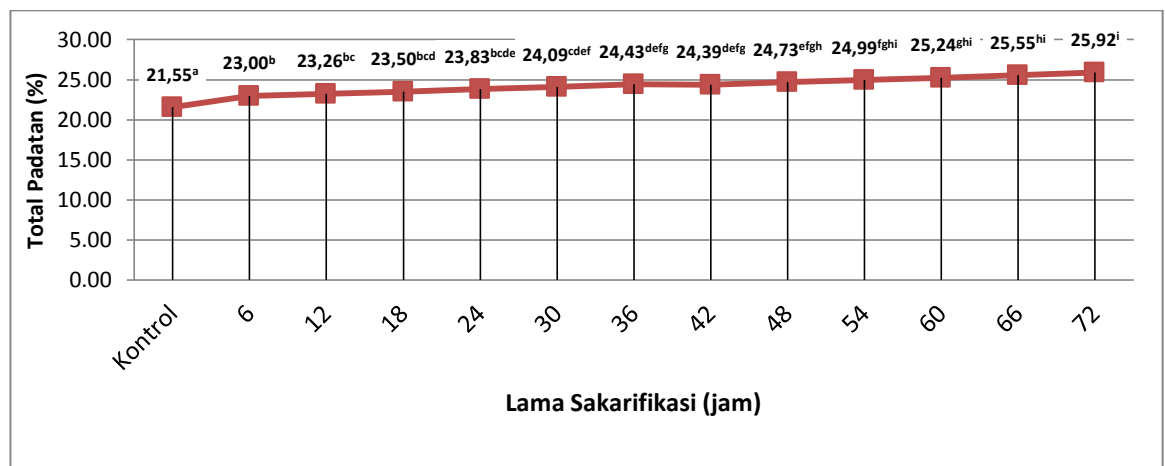
Beberapa penelitian telah dilakukan dan menunjukkan bahwa penggunaan suhu tinggi dapat meningkatkan perolehan total padatan, seperti penelitian Meikapasa dan Seventilofa (2016), mengenai pengaruh suhu dan lama pemasakan terhadap kualitas saus tomat yaitu semakin tinggi suhu dan semakin lama pemasakan dihasilkan total padatan yang

semakin tinggi. Lebih lanjut dikemukakan oleh Sari dan Kusnadi (2015), adanya penguapan kadar air selama proses pemanasan menyebabkan total padatan meningkat.

Total padatan juga dapat mengindikasikan adanya gula sederhana atau gula pereduksi yang terbentuk akibat hidrolisis pati dan menjadi padatan terlarut dalam suspensi. Hal tersebut juga dapat menjadi penyebab total padatan pada produk meningkat. Hal ini dijelaskan oleh Muafi (2004), bahwa komponen-komponen yang terukur sebagai total padatan terlarut yaitu sukrosa, gula pereduksi, asam-asam organik dan protein. Selain itu, peningkatan total padatan selama proses gelatinisasi juga dapat disebabkan banyaknya partikel-partikel kecil dari pemotongan rantai pati terutama pada fraksi amilopektin di daerah kristalin selama proses gelatinisasi, dimana partikel-partikel tersebut menjadi padatan terlarut dalam suspensi.

Nilai total padatan yang diperoleh semakin meningkat seiring meningkatnya lama reaksi sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai total padatan sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai total padatan umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata yaitu pada kontrol ke lama reaksi 6 jam, 6 jam ke 30 jam, 12 jam ke 36 jam, 18 jam ke 48 jam, 24 jam ke 54 jam, 30 jam ke 60 jam, 42 jam ke 66 jam, dan 48 jam ke 72 jam (Lampiran 4d). Gambar dibawah menunjukkan hubungan rata-rata total padatan yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai total padatan pada penggunaan

suhu gelatinisasi 87°C dan 121°C terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan total padatan pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai total padatan pada sirup glukosa mengalami peningkatan seiring dengan lama sakarifikasi, dimana peningkatan dimulai dari 0 jam (kontrol) dengan nilai total padatan sebesar 21,55% dan berlanjut hingga lama reaksi 72 jam dengan nilai total padatan sebesar 25,92%. Adanya peningkatan total padatan seiring bertambahnya lama sakarifikasi diakibatkan oleh tingginya tingkat penguapan air suspensi seiring bertambahnya lama sakarifikasi. Penguapan air pada sirup glukosa telah terjadi sejak tahap gelatinisasi yang kemudian dilanjutkan ke tahap likuifikasi dan tahap sakarifikasi, sehingga laju penguapan air semakin tinggi dan meningkatkan total padatan. Oleh karena itu, semakin lama reaksi berlangsung maka semakin tinggi pula penguapan air yang terjadi sehingga kadar air dalam

suspensi semakin berkurang yang pada akhirnya berpengaruh terhadap total padatan yang dihasilkan.

Peningkatan total padatan seiring dengan tingginya penguapan air juga dikemukakan oleh Heldman (2012), semakin lama proses pemasakan maka proses penguapan air bebas dalam produk akan semakin tinggi. Jika penguapan semakin tinggi maka kadar air semakin turun sehingga persentase total padatan semakin meningkat. Hal ini juga didukung dengan pernyataan Histifarina dkk. (2004), bahwa kemampuan bahan untuk melepaskan air dari permukaannya akan semakin besar dengan meningkatnya suhu yang digunakan dan makin lamanya proses pemanasan, sehingga kadar air yang dihasilkan semakin rendah.

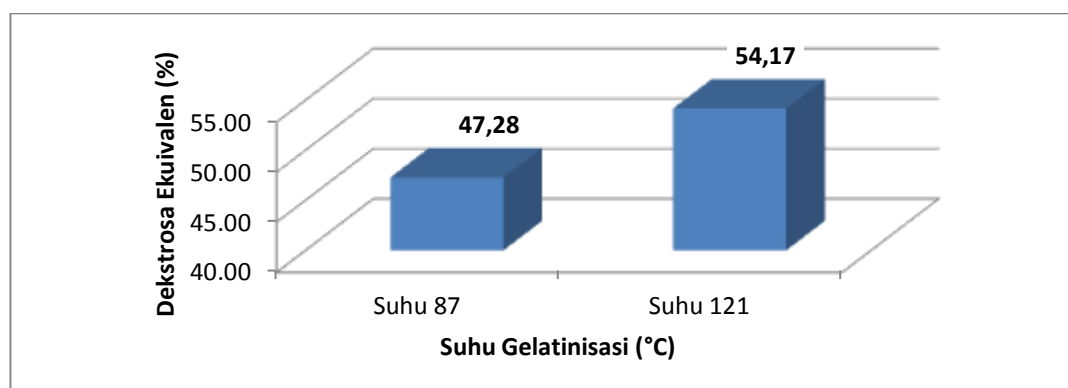
A.3. Dekstrosa Ekuivalen

Dekstrosa ekuivalen adalah total gula pereduksi yang dinyatakan sebagai dekstrosa dan dihitung sebagai persentase bahan kering secara keseluruhan (Kalsum dan Surfiana, 2013). Nilai DE merupakan parameter yang menggambarkan seberapa banyak pati yang terkonversi menjadi glukosa akibat hidrolisis enzim (Ni'maturohmah dan Yuniarta, 2015). Dekstrosa ekuivalen berkaitan dengan kadar gula pereduksi dan dinyatakan dalam satuan persen.

Perolehan nilai dekstrosa ekuivalen pada variasi penggunaan suhu gelatinisasi cenderung meningkat baik pada suhu 87°C maupun pada suhu 121°C. Hasil analisa nilai dekstrosa ekuivalen yang diperoleh dengan penggunaan suhu 87°C berkisar antara 38,75% hingga 55,91% dan nilai

dekstrosa ekuivalen dengan penggunaan suhu 121°C berkisar antara 43,95% hingga 64,71% (Lampiran 5a). Sedangkan rentang nilai rata-rata dekstrosa ekuivalen sirup glukosa berkisar antara 41,77% hingga 59,11% (Lampiran 5b). Dari hasil analisa juga diperoleh nilai rata-rata kadar gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 121°C sebesar 54,17% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 87°C dengan nilai 47,28% (Lampiran 5b).

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig} < 0,05$) terhadap nilai dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan sehingga dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 5c). Sedangkan interaksi antara variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig} > 0,05$) terhadap nilai dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan nilai dekstrosa ekuivalen pada setiap penggunaan variasi suhu gelatinisasi dapat dilihat pada Gambar 14.



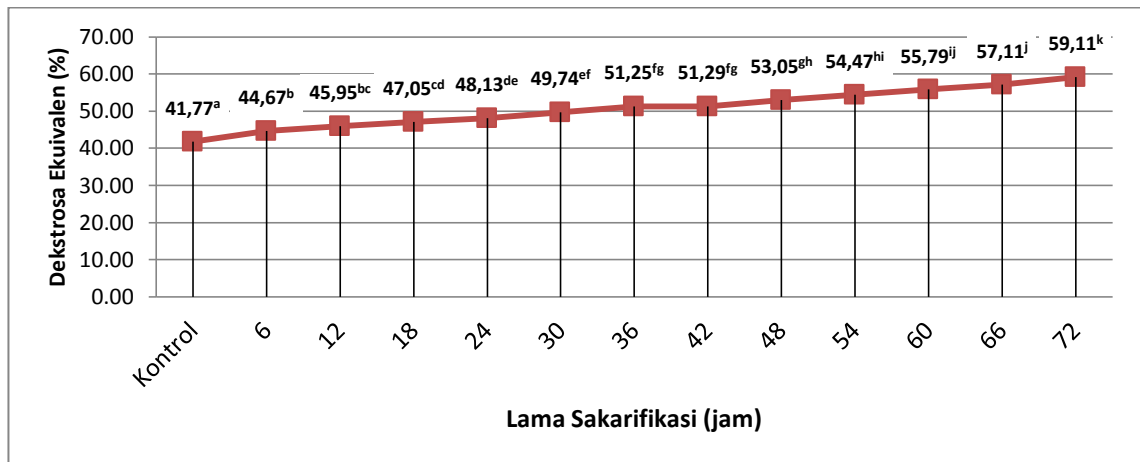
Gambar 14. Hubungan antara Variasi Suhu Gelatinisasi terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Gambar 14 memperlihatkan bahwa semakin tinggi suhu gelatinisasi yang digunakan maka nilai dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan pun semakin meningkat, dimana perolehan dekstrosa ekuivalen pada suhu 121°C sebesar 54,17% lebih tinggi dibandingkan pada suhu 87°C sebesar 47,28%. Nilai DE mengalami peningkatan seiring meningkatnya kadar gula pereduksi. Pati sagu terdiri dari struktur amilosa dan amilopektin, dimana struktur amilosa berada pada bagian amorf dan amilopektin dapat membentuk struktur *double helix* bertanggung jawab terhadap bagian kristalin granula pati. Amorf merupakan bagian pati yang longgar sehingga mudah untuk dihidrolisis oleh enzim. Sedangkan kristalin merupakan bagian pati dengan struktur yang lebih kokoh dan kuat sehingga sulit untuk dihidrolisis oleh enzim. Sehingga untuk menghidrolisis pati di daerah kristalin terlebih dahulu harus dilakukan pemecahan daerah kristal dengan perlakuan termal.

Perlakuan termal dapat merusak dan melelehkan bagian amorf dan kristalin pati sehingga amilosa dan amilopektin dapat berdifusi keluar granula. Saat amilosa dan amilopektin berdifusi maka enzim dapat lebih mudah menghidrolisis sehingga dihasilkan oligosakarida dan dekstrin dengan molekul relatif kecil. Setiap rantai gula yang terhidrolisis memiliki satu gugus gula pereduksi sehingga semakin banyak pati yang terhidrolisis menjadi gula rantai sederhana maka jumlah gula pereduksi juga semakin tinggi. Hal ini secara tidak langsung meningkatkan nilai dekstrosa ekuivalen. Sehingga semakin tinggi suhu gelatinisasi yang

digunakan maka nilai dekstrosa ekuivalen pun semakin tinggi pula. Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan oleh Belitz dan Grosch (1999), bahwa adanya energi termal dan mekanis yang diberikan pada pati selama pemanasan di atas suhu gelatinisasinya, maka terjadi perusakan ikatan kovalen dan hidrogen pada struktur *double helix* amilopektin dan pelelehan bagian kristalin.

Nilai dekstrosa ekuivalen yang diperoleh semakin meningkat seiring meningkatnya lama reaksi sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai dekstrosa ekuivalen sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai dekstrosa ekuivalen umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata yaitu pada kontrol ke lama reaksi 6 jam, 6 jam ke 18 jam, 12 jam ke 24 jam, 18 jam ke 30 jam, 24 jam ke 36 dan 42 jam, 30 jam ke 48 jam, 36 dan 42 jam ke 54 jam, 48 jam ke 60 jam, 54 jam ke 66 jam, serta 60 dan 66 jam ke 72 jam (Lampiran 5d). Gambar dibawah menunjukkan hubungan rata-rata dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai dekstrosa ekuivalen pada penggunaan suhu gelatinisasi 87°C dan 121°C terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan dekstrosa ekuivalen pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Gambar 15 menunjukkan perolehan nilai dekstrosa ekuivalen pada sirup glukosa meningkat seiring dengan peningkatan lama sakarifikasi, dimana peningkatan dimulai dari 0 jam (kontrol) dengan nilai dekstrosa ekuivalen sebesar 41,77% dan terus mengalami peningkatan hingga lama reaksi 72 jam dengan nilai dekstrosa ekuivalen sebesar 59,11%. Nilai dekstrosa ekuivalen dipengaruhi oleh nilai gula pereduksi, sehingga semakin lama proses hidrolisis berlangsung, maka kontak antara enzim dan pati sugu semakin besar sehingga hasil hidrolisis berupa gula rantai sederhana semakin banyak.

Setiap rantai gula yang terhidrolisis memiliki satu gugus gula pereduksi sehingga semakin banyak pati yang terhidrolisis menjadi gula rantai sederhana maka nilai gula pereduksi juga semakin tinggi. Nilai gula pereduksi yang tinggi dapat menyebabkan tingginya nilai dekstrosa ekuivalen. Hasil ini sesuai dengan pernyataan Soeroso dkk. (2008), bertambahnya perolehan glukosa yang dihasilkan disebabkan semakin

lama dilakukan hidrolisis maka terjadinya kesempatan tumbukan antara molekul air dengan molekul-molekul pati akan semakin lama sehingga akan menghasilkan glukosa yang semakin banyak. Lehninger (1997) juga menyatakan, bahwa semakin lama waktu reaksi maka kerja enzim juga akan semakin optimum.

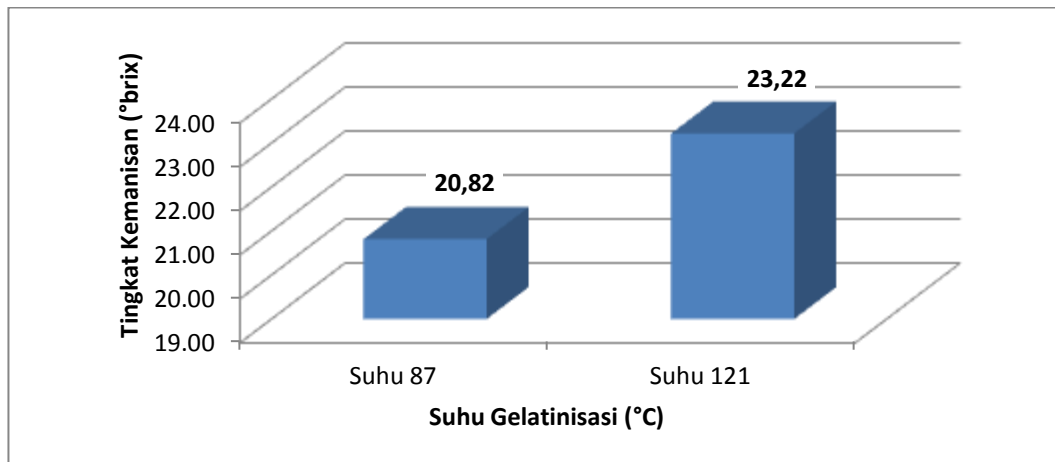
Keterkaitan antara nilai gula pereduksi dan nilai dekstrosa ekuivalen juga dinyatakan oleh Pudiastuti dan Pratiwi (2013), bahwa semakin lama proses reaksi yang berlangsung, semakin banyak pati yang dihidrolisa oleh enzim untuk menghasilkan dekstrin. Dekstrin yang banyak, meningkatkan DE dari produk dekstrin yang dihasilkan. Menurut Muchtadi dkk. (1992), dekstrosa ekuivalen (DE) menyatakan total kadar gula pereduksi yang dihitung sebagai dekstrosa (glukosa), sehingga semakin lama reaksi berlangsung maka semakin banyak pula pati yang dapat dihidrolisis menjadi senyawa sederhana dalam hal ini adalah dekstrosa (glukosa), menyebabkan nilai DE meningkat.

A.4. Tingkat Kemanisan

Tingkat kemanisan merupakan salah satu parameter seberapa banyak terbentuknya gula-gula sederhana dalam suatu produk atau bahan pangan. Tingkat kemanisan sirup glukosa diukur menggunakan alat *hand refraktometer*. Prinsip kerja alat tersebut adalah mengukur tingkat kemanisan sirup glukosa berdasarkan jumlah padatan terlarut yang mendominasi di dalam suatu bahan pangan.

Perolehan tingkat kemanisan pada variasi penggunaan suhu gelatinisasi cenderung meningkat baik pada suhu 87°C maupun pada suhu 121°C. Hasil analisa tingkat kemanisan yang diperoleh dengan penggunaan suhu 87°C berkisar antara 18,00°brix hingga 22,60°brix dan tingkat kemanisan dengan penggunaan suhu 121°C berkisar antara 20,00°brix hingga 25,40°brix (Lampiran 6a). Sedangkan rentang nilai rata-rata tingkat kemanisan sirup glukosa berkisar antara 19,35°brix hingga 23,60°brix (Lampiran 6b). Dari hasil analisa juga diperoleh nilai rata-rata kadar gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 121°C sebesar 23,22°brix lebih tinggi dibandingkan dengan nilai gula pereduksi dengan penggunaan suhu gelatinisasi 87°C dengan nilai 20,82°brix (Lampiran 6b).

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig} < 0,05$) terhadap nilai tingkat kemanisan yang dihasilkan sehingga dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 6c). Sedangkan interaksi antara variasi suhu gelatinisasi dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig} > 0,05$) terhadap nilai tingkat kemanisan yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan nilai tingkat kemanisan pada setiap penggunaan variasi suhu gelatinisasi dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Hubungan Variasi Suhu Gelatinisasi terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Gambar 16 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu gelatinisasi yang digunakan maka tingkat kemanisan yang dihasilkan pun semakin meningkat, dimana perolehan tingkat kemanisan pada penggunaan suhu 121°C sebesar 23,22°brix lebih tinggi dibandingkan pada suhu 87°C sebesar 20,82°brix. Hal ini menunjukkan bahwa suhu hidrolisa mempengaruhi tingkat kemanisan yang dihasilkan. Tingkat kemanisan diperoleh dari total padatan terlarut yang diperoleh. Pada dasarnya total padatan terlarut suatu bahan meliputi gula reduksi, gula non reduksi, asam-asam organik, pektin, garam, dan protein yang sangat berpengaruh pada °brix (Ranken dan Kill, 1993). Semakin tinggi suhu gelatinisasi maka kadar air pada suspensi sagu mengalami penurunan karena terjadi proses penguapan sehingga total padatan yang diperoleh pun meningkat. Hal ini didukung dengan pernyataan Fitriani (2008), semakin lama waktu pemasakan kadar air akan menurun, menyebabkan penguapan air lebih banyak sehingga kadar air dalam bahan semakin kecil. Penguapan

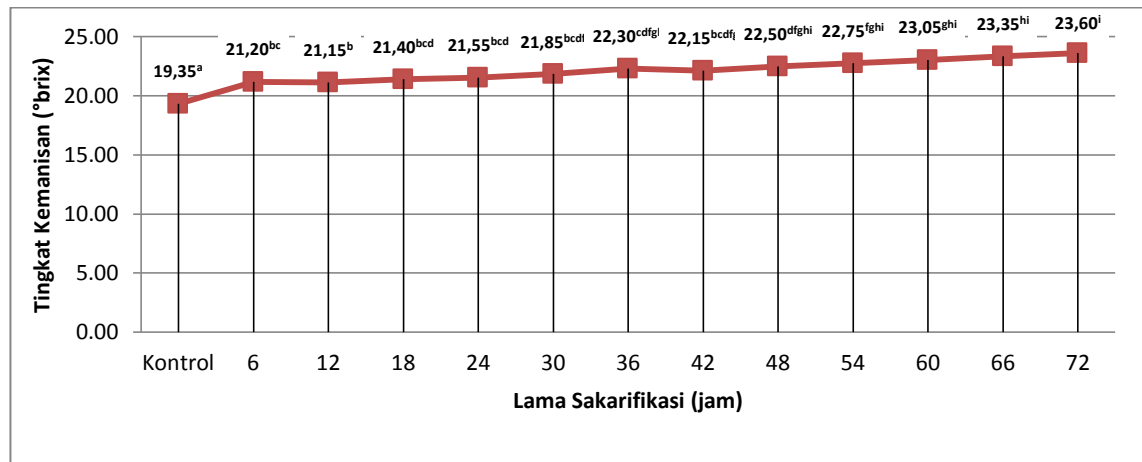
tersebut juga diakibatkan karena terjadinya perbedaan tekanan uap antara air pada bahan dengan uap air pada udara. Tekanan uap air pada bahan pada umumnya lebih besar dari tekanan uap air di udara sehingga terjadi perpindahan massa air dari bahan ke udara.

Total padatan juga dapat mengindikasikan adanya gula sederhana atau gula pereduksi yang terbentuk akibat hidrolisis oleh enzim dan menjadi padatan terlarut dalam suspensi. Hal ini dijelaskan oleh Muafi (2004), bahwa komponen-komponen yang terukur sebagai total padatan terlarut yaitu sukrosa, gula pereduksi, asam-asam organik dan protein. Selain itu, peningkatan total padatan selama proses gelatinisasi dapat disebabkan banyaknya partikel-partikel kecil dari pemotongan rantai pati terutama pada fraksi amilopektin di daerah kristalin selama proses gelatinisasi, dimana partikel-partikel tersebut menjadi padatan terlarut dalam suspensi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Belitz dan Grosch (1999), adanya energi termal dan mekanis yang diberikan pada pati selama pemanasan di atas suhu gelatinisasinya, maka terjadi perusakan ikatan kovalen dan hidrogen pada struktur *double helix* amilopektin dan pelelehan bagian kristalin, sehingga terbentuk ukuran partikel pati yang lebih kecil.

Beberapa penelitian telah dilakukan dan menunjukkan bahwa penggunaan suhu tinggi dapat meningkatkan tingkat kemanisan, seperti penelitian Nilasari dkk. (2017), mengenai pengaruh suhu dan lama pemasakan terhadap karakteristik lempok labu kuning yaitu semakin tinggi

suhu dan semakin lama pemasakan total gula yang diperoleh semakin tinggi karena semakin tinggi suhu dan semakin lama proses pemasakan maka proses penguapan air bebas dalam produk akan semakin tinggi. Jika penguapan semakin tinggi maka kadar air semakin turun sehingga persentase total gula semakin meningkat. Lebih lanjut oleh penelitian Sutanto dkk. (2014), bahwa semakin tinggi suhu hidrolisa maka kadar glukosa yang diperoleh semakin tinggi. Hidrolisis menggunakan suhu tinggi mengakibatkan pati mengembang dan pecah sehingga rantai panjang unit-unit glukosa dari amilosa dan amilopektin menjadi lebih pendek dan seterusnya pecah menjadi unit-unit glukosa.

Nilai tingkat kemanisan yang diperoleh semakin meningkat seiring meningkatnya lama reaksi sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai total padatan sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai total padatan umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata yaitu pada kontrol ke lama reaksi 12 jam, 12 jam ke 36 jam, 6 jam ke 48 jam, 18 dan 24 jam ke 54 jam, 30 jam ke 60 jam, 42 jam ke 66 jam, dan 36 jam ke 72 jam (Lampiran 6d). Gambar dibawah menunjukkan hubungan rata-rata tingkat kemanisan yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai tingkat kemanisan pada penggunaan suhu gelatinisasi 87°C dan 121°C terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan tingkat kemanisan pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Gambar 17 menunjukkan bahwa tingkat kemanisan pada sirup glukosa mengalami peningkatan selama proses sakarifikasi berlangsung yakni pada 0 jam sakarifikasi nilai tingkat kemanisan sebesar 19,35°brix dan mengalami peningkatan hingga 72 jam sakarifikasi dengan nilai tingkat kemanisan sebesar 23,60°brix akan tetapi dianggap sama saja karena perbedaan nilai yang diperoleh tidak terlalu berbeda. Peningkatan ini disebabkan karena semakin lama waktu yang digunakan dalam proses sakarifikasi maka semakin banyak kontak yang terjadi antara enzim terhadap pati sagu sehingga pemutusan ikatan α -1,4 glikosidik dan α -1,6 glikosidik pada amilosa dan amilopektin pada pati sagu semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan karena semakin lama proses reaksi maka aktivitas enzim semakin optimal.

Soeroso dkk. (2008) menyatakan, bahwa bertambahnya perolehan glukosa yang dihasilkan disebabkan semakin lama dilakukan hidrolisis maka terjadinya kesempatan tumbukan antara molekul air dengan

molekul-molekul pati akan semakin lama sehingga akan menghasilkan glukosa yang semakin banyak. Lehninger (1997) juga menyatakan, bahwa semakin lama waktu reaksi maka kerja enzim juga akan semakin optimum. Hal ini sejalan dengan penelitian Sutarno dkk. (2013), mengenai hidrolisis selulosa ampas sagu yang menyatakan bahwa interaksi antara enzim dengan substrat yang semakin lama menyebabkan semakin banyak glukosa yang terbentuk.

B. Penelitian Tahap II

Penelitian tahap II adalah penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan konsentrasi substrat sagu dengan menggunakan konsentrasi 25%, 30%, dan 35%. Hasil data pengujian sidik ragam pada penelitian tahap I menunjukkan bahwa penggunaan suhu gelatinisasi berpengaruh nyata terhadap parameter pengamatan gula pereduksi, total padatan, dekstrosa ekuivalen, dan tingkat kemanisan sirup glukosa. Oleh karena itu, berdasarkan data penelitian tahap I terkait pengaruh penggunaan suhu gelatinisasi pati sagu disimpulkan bahwa penggunaan suhu 121°C dalam pembuatan sirup glukosa lebih optimal dan efisien dibandingkan dengan penggunaan suhu 87°C. Sehingga, penelitian tahap II dilakukan dengan menggunakan suhu 121°C.

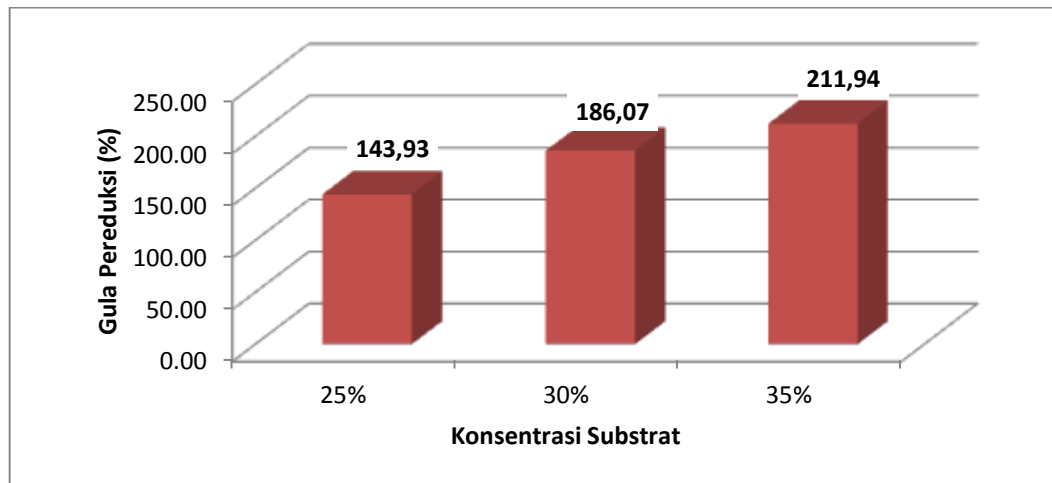
B.1. Gula Pereduksi

Gula pereduksi merupakan gula yang mempunyai kemampuan untuk mereduksi senyawa-senyawa penerima elektron, hal ini dikarenakan

adanya gugus aldehid dan keton bebas. Glukosa merupakan salah satu jenis gula pereduksi. Pengukuran gula pereduksi bertujuan untuk memperoleh gambaran terhadap banyaknya gula pereduksi yang terbentuk. Selain itu, nilai gula pereduksi bersama dengan total padatan nilai akan digunakan untuk menentukan nilai dektrosa ekuivalen sirup glukosa.

Hasil analisa gula pereduksi yang diperoleh (Lampiran 9a) menunjukkan nilai kisaran gula pereduksi dengan konsentrasi sagu 25% berkisar antara 115,03 g/L hingga 170,37 g/L. Nilai kisaran gula pereduksi dengan penggunaan konsentrasi sagu 30% berkisar antara 151,50 g/L hingga 216,21 g/L. Nilai kisaran gula pereduksi dengan penggunaan konsentrasi sagu 35% berkisar antara 180,61 g/L hingga 234,92 g/L. Sedangkan rentang nilai rata-rata total gula pereduksi yang diperoleh berkisar antara 151,34 g/L hingga 200,13 g/L (Lampiran 9b).

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig} < 0,05$) terhadap nilai gula pereduksi yang dihasilkan sehingga dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 9c). Sedangkan interaksi antara variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig} > 0,05$) terhadap nilai gula pereduksi yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan nilai gula pereduksi pada setiap penggunaan variasi konsentrasi substrat dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat terhadap Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Gambar 18 menunjukkan rata-rata nilai gula pereduksi pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30% dan 35% terhadap nilai gula pereduksi, dimana perolehan nilai gula pereduksi meningkat pada setiap peningkatan konsentrasi sagu. Hasil analisa lanjut Duncan dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu terhadap nilai gula pereduksi sirup glukosa (Lampiran 9d) menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi sagu 25% dengan nilai gula pereduksi sebesar 143,93 g/L mengalami peningkatan yang signifikan ke penggunaan konsentrasi sagu 30% dengan nilai gula pereduksi sebesar 186,07 g/L. Nilai gula pereduksi juga meningkat secara signifikan dari konsentrasi 30% dengan nilai gula pereduksi sebesar 186,07 g/L ke penggunaan konsentrasi sagu 35% dengan nilai 211,94 g/L.

Peningkatan nilai gula pereduksi terjadi seiring dengan meningkatnya konsentrasi sagu yang dapat dihidrolisis oleh enzim. Kecepatan aktivitas enzim pun dipengaruhi oleh konsentrasi substrat,

semakin meningkat konsentrasi substrat yang digunakan maka aktivitas enzim pun semakin optimal karena semakin banyak substrat yang dapat berikatan pada sisi aktif enzim. Konsentrasi pati sagu yang tinggi memungkinkan terjadinya ikatan antara substrat pati sagu dan enzim yang semakin besar sehingga produk yang dihasilkan berupa gula rantai sederhana juga semakin tinggi.

Hidrolisis pati oleh enzim α -amilase menghasilkan glukosa, maltosa, maltotriosa, dan berbagai jenis α -limit dekstrin, yaitu oligosakarida yang terdiri dari 4 atau lebih residu gula yang banyak mengandung ikatan α -1,6 glikosidik. Kemudian potongan rantai pati yang sudah dihidrolisis oleh enzim α -amilase akan terhidrolisis lebih lanjut menjadi glukosa oleh enzim glukamilase, sehingga glukosa yang dihasilkan juga lebih banyak. Setiap rantai gula yang terhidrolisis memiliki satu gugus gula pereduksi sehingga semakin banyak pati yang terhidrolisis menjadi gula rantai sederhana maka jumlah gula pereduksi juga semakin tinggi.

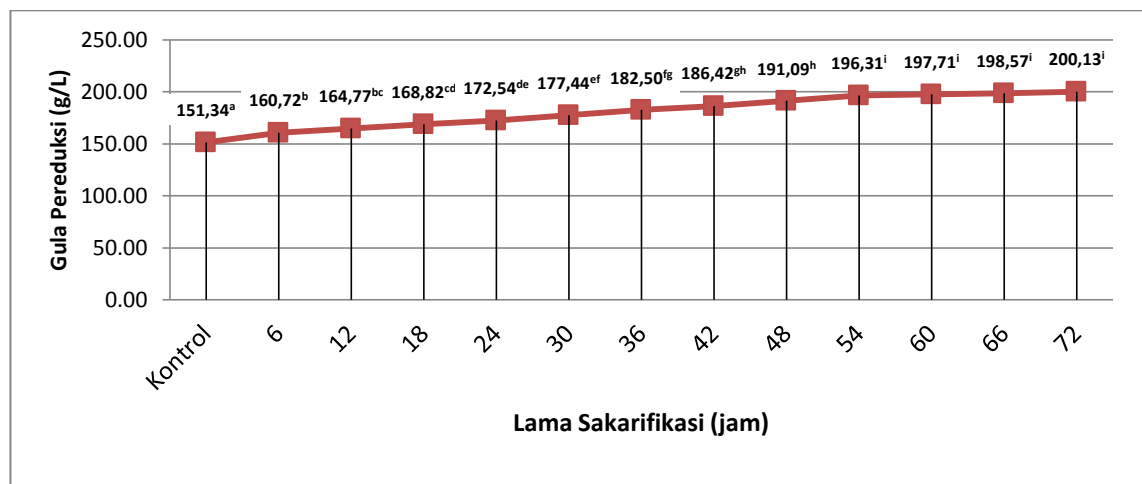
Omemu dkk. (2005) menyatakan, bahwa kecepatan reaksi akan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi substrat. Peningkatan kecepatan reaksi akan semakin kecil sampai mencapai titik dimana penambahan substrat sudah tidak mempengaruhi kecepatan reaksi enzim lagi. Hal ini disebabkan semua molekul enzim sudah membentuk ikatan kompleks dengan substrat. Lebih lanjut dijabarkan oleh Poedjiadi (1994), kecepatan reaksi enzimatik dipengaruhi oleh konsentrasi substrat, yaitu

pada konsentrasi substrat rendah, bagian aktif enzim hanya menampung substrat sedikit. Konsentrasi substrat bila diperbesar, semakin banyak substrat yang dapat berhubungan dengan enzim pada bagian aktif tersebut, dengan demikian konsentrasi kompleks enzim substrat semakin besar dan hal ini menyebabkan semakin besarnya kecepatan reaksi enzimatik.

Beberapa penelitian telah dilakukan dan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi substrat dapat meningkatkan perolehan gula pereduksi, seperti penelitian Ticoalu dkk. (2016), mengenai pemanfaatan ubi ungu menjadi minuman berantosianin melalui hidrolisis enzim dinyatakan bahwa semakin meningkat konsentrasi ubi ungu yang digunakan maka gula pereduksi yang dihasilkan pun semakin meningkat karena substrat pati yang dapat dihidrolisis oleh enzim α -amilase dan glukoamilase pun semakin besar.

Nilai gula pereduksi yang diperoleh meningkat seiring lama waktu sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai gula pereduksi sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai gula pereduksi umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata kecuali pada lama reaksi 6 jam ke 12 jam, 12 jam ke 18 jam, 18 jam ke 24 jam, 24 jam ke 30 jam, 36 jam ke 42 jam, 42 jam ke 48 jam, serta 54 jam ke 60, 66, dan 72 jam (Lampiran 9e). Gambar dibawah menunjukkan hubungan rata-rata nilai gula pereduksi yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai gula pereduksi pada

penggunaan konsentrasi substrat 25%, 30%, dan 35% terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan nilai gula pereduksi pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Gambar 19 menunjukkan rata-rata nilai gula pereduksi yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai gula pereduksi pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30% dan 35%. Berdasarkan gambar diatas, nilai gula pereduksi pada sirup glukosa mengalami peningkatan selama proses sakarifikasi berlangsung yakni dari 0 jam dengan nilai gula pereduksi 151,34 g/L hingga lama reaksi 72 jam dengan nilai gula pereduksi sebesar 200,13 g/L.

Peningkatan nilai gula pereduksi seiring bertambahnya waktu sakarifikasi diakibatkan oleh bertambahnya waktu interaksi antara substrat berupa pati sagu dengan enzim glukoamilase. Peningkatan tersebut diduga disebabkan substrat dari hasil likuifikasi yang harus dihidrolisis lebih lanjut pada proses sakarifikasi masih banyak. Hidrolisis pati oleh

enzim α -amilase menghasilkan glukosa, maltosa, maltotriosa, dan berbagai jenis α -limit dekstrin, yaitu oligosakarida yang terdiri dari 4 atau lebih residu gula yang banyak mengandung ikatan α -1,6 glikosidik. Kemudian potongan rantai pati yang sudah dihidrolisis oleh enzim α -amilase akan terhidrolisis lebih lanjut menjadi glukosa oleh enzim glukoamilase, sehingga glukosa yang dihasilkan juga lebih banyak. Setiap rantai gula yang terhidrolisis memiliki satu gugus gula pereduksi sehingga semakin banyak pati yang terhidrolisis menjadi gula rantai sederhana maka jumlah gula pereduksi juga semakin tinggi.

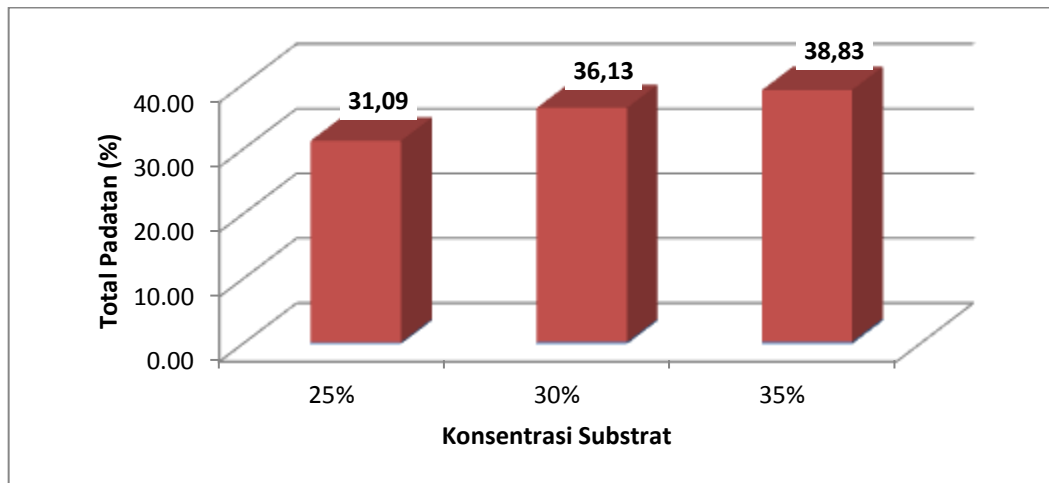
Mangunwidjaja dan Suryani (1994) menyatakan, bahwa sakarifikasi merupakan tahap hidrolis lanjutan dari tahap likuifikasi, pada proses sakarifikasi ini dekstrin dipecah lagi secara enzimatik. Waktu reaksi mempengaruhi konversi yang dihasilkan. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin tinggi pula konversi yang di hasilkan. Hal ini disebabkan oleh kesempatan enzim untuk saling berikatan dan bereaksi semakin besar, sehingga konversi yang di hasilkan semakin tinggi. Kenaikan gula pereduksi seiring bertambahnya waktu interaksi pati-enzim juga dinyatakan oleh Ambriyanto (2010), bahwa interaksi antara enzim dengan substrat yang semakin lama menyebabkan semakin banyak glukosa yang terbentuk. Lehninger (1997) juga menyatakan, bahwa semakin lama waktu reaksi maka kerja enzim juga akan semakin optimum. Lebih lanjut menurut Ni'maturohmah dan Yuniarta (2015), seiring meningkatnya lama reaksi maka semakin banyak pati yang terhidrolisis dan meningkatnya

aktivitas enzim untuk memecah ikatan-ikatan glikosidik menjadi gula sederhana yang menyebabkan jumlah gula reduksi semakin meningkat.

B.2. Total Padatan

Total padatan merupakan jumlah padatan yang terkandung dalam bahan yang mengandung air. Hasil total padatan terlarut akan digunakan untuk menghitung nilai dekstrosa ekuivalen (DE) sirup glukosa yang dihasilkan bersama-sama dengan gula pereduksi. Hasil analisa total padatan sirup glukosa yang diperoleh (Lampiran 10a) menunjukkan bahwa nilai total padatan dengan penggunaan konsentrasi sagu 25% berkisar antara 28,03% hingga 32,98%. Nilai total padatan dengan konsentrasi sagu 30% berkisar antara 33,17% hingga 38,32%. Rentang nilai total padatan sirup glukosa dengan penggunaan konsentrasi sagu 35% sebesar 36,64% hingga 40,35%. Sedangkan rentang nilai total padatan sirup glukosa yang diperoleh (Lampiran 10b) adalah sebesar 32,96% hingga 36,61%.

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig} < 0,05$) terhadap nilai total padatan yang dihasilkan sehingga dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 10c). Sedangkan interaksi antara variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig} > 0,05$) terhadap nilai total padatan yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan nilai total padatan pada setiap penggunaan variasi konsentrasi substrat dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Gambar 20 menunjukkan nilai total padatan pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30%, dan 35%, dimana nilai total padatan meningkat seiring tingginya konsentrasi sagu yang digunakan. Hasil analisa lanjut Duncan dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu terhadap total padatan sirup glukosa (Lampiran 10d) menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi sagu 25% dengan nilai total padatan sebesar 31,09% dan meningkat secara signifikan ke penggunaan konsentrasi sagu 30% dengan nilai total padatan sebesar 36,13%. Peningkatan total padatan juga meningkat dengan signifikan juga terjadi pada penggunaan konsentrasi sagu 30% dengan nilai total padatan sebesar 36,13% ke penggunaan konsentrasi sagu 35% dengan nilai total padatan sebesar 38,83%.

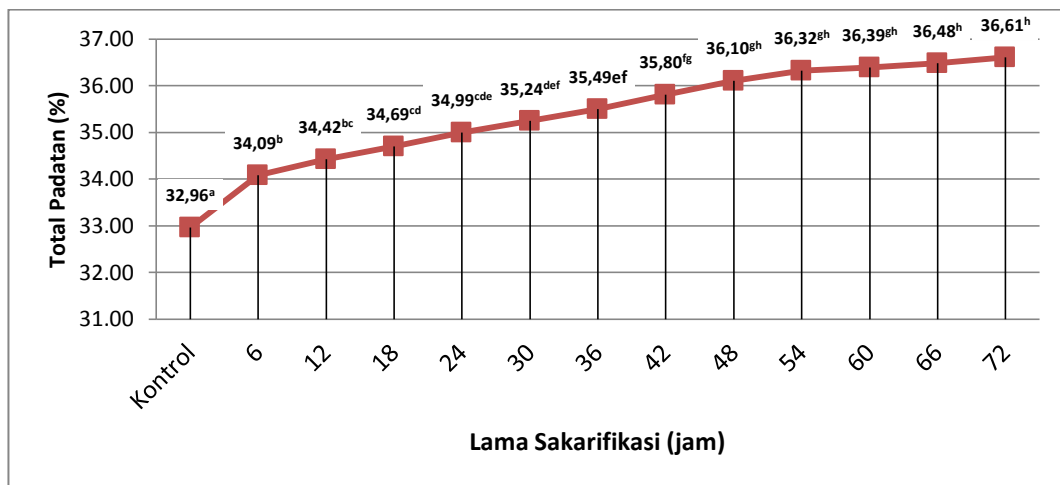
Peningkatan total padatan yang signifikan seiring meningkatnya konsentrasi sagu diakibatkan oleh meningkatnya jumlah pati dalam suspensi. Pati tersusun dari amilosa dan amilopektin, oleh karena itu

dengan semakin meningkatnya konsentrasi substrat yang digunakan berarti kuantitas amilosa dan amilopektin pun semakin meningkat sehingga semakin banyak pula air yang terikat pada substrat dan menyebabkan peningkatan total padatan. Tjokroadikoesoemo (1993) menyatakan, bahwa pati yang tergelatinisasi pada saat likuifikasi kemudian terhidrolisis oleh enzim α -amilase dan glukoamilase pada saat sakarifikasi maka akan terjadi pengikatan air.

Beberapa penelitian telah dilakukan dan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi substrat dapat meningkatkan perolehan total padatan, seperti penelitian Jariyah dkk. (2011) mengenai produksi sirup glukosa berbahan pati garut, bahwa penambahan konsentrasi substrat pati garut menyebabkan penurunan kadar air dalam sirup glukosa sehingga total padatan yang dihasilkan sebagai hasil dari proses sakarifikasi meningkat karena adanya pengikatan air oleh substrat pati garut.

Nilai total padatan yang diperoleh meningkat seiring lama waktu sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai total padatan sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai total padatan umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata kecuali pada lama reaksi 6 jam ke 12 jam, 12 jam ke 18 dan 24 jam, 18 jam ke 24 dan 30 jam, 24 jam ke 30 dan 36 jam, 30 jam ke 36 dan 42 jam, 42 jam ke 48, 54, dan 60 jam, serta 48 jam ke 54, 60, 66, dan 72 jam (Lampiran 10e). Gambar dibawah menunjukkan hubungan

rata-rata nilai total padatan yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai total padatan pada penggunaan konsentrasi substrat 25%, 30%, dan 35% terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan nilai total padatan pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Gambar 21 menunjukkan rata-rata nilai total padatan yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai total padatan pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30% dan 35%. Berdasarkan gambar diatas, nilai total padatan pada sirup glukosa mengalami peningkatan selama proses sakarifikasi berlangsung yakni dari waktu 0 jam dengan jumlah nilai total padatan sebesar 32,96% hingga lama reaksi 72 jam dengan nilai total padatan sebesar 36,61%.

Perhitungan nilai total padatan dilakukan dengan menggunakan prinsip kadar air. Kadar air yang tinggi pada sirup glukosa menghasilkan total padatan yang rendah sebaliknya, kadar air sirup glukosa yang

rendah menghasilkan total padatan yang tinggi. Semakin lama reaksi sakarifikasi mengakibatkan kerja enzim untuk menghidrolisis potongan pati masih berlangsung dan proses hidrolisis tersebut membutuhkan air. Air yang digunakan untuk hidrolisis tersebut diikat oleh glukosa-glukosa hasil pemecahan rantai pati oleh enzim, sehingga semakin lama sakarifikasi berlangsung, maka rantai yang dipecah semakin banyak dan glukosa yang terbentuk semakin banyak, sehingga kadar air berkurang. Berkurangnya kadar air mengakibatkan total padatan menjadi lebih tinggi. Menurut Tjokroadikoesoemo (1993), pati yang akan dihidrolisis melalui proses gelatinisasi terlebih dahulu, dimana pati mengikat air dan mengalami penggelembungan granula setelah itu proses hidrolisis dilakukan dengan likuifikasi dan sakarifikasi. Proses hidrolisis diikuti dengan pengikatan air oleh glukosa.

Peningkatan total padatan sirup glukosa juga dapat diakibatkan oleh tingginya tingkat penguapan air seiring bertambahnya waktu sakarifikasi. Proses sakarifikasi sirup glukosa dengan suhu 60°C selama 72 jam mengakibatkan terjadinya penguapan air secara terus-menerus selama proses sakarifikasi berlangsung sehingga kadar air dalam sirup glukosa berkurang. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan kadar uap air karena suspensi terpapar panas dari *shaker waterbath* selama proses sakarifikasi berlangsung. Kadar uap air pada suspensi umumnya lebih besar dibandingkan kadar uap air di lingkungan sehingga terjadi

perpindahan air dari suspensi ke lingkungan. Air yang menguap akan menyisakan total padatan pada suspensi.

Peningkatan total padatan seiring dengan tingginya penguapan dan kehilangan air juga dikemukakan oleh Charley dan Weaver (1998), seiring lamanya waktu ekstraksi zat padatan, maka jumlah air di dalam produk akan semakin berkurang akibat proses penguapan. Semakin besar air yang menguap karena proses pemanasan, maka zat padatan yang dihasilkan akan menjadi tinggi. Hal ini juga didukung dengan pernyataan Fitriani (2008), semakin lama waktu pemasakan kadar air akan menurun, menyebabkan penguapan air lebih banyak sehingga kadar air dalam bahan semakin kecil. Penguapan tersebut juga diakibatkan karena terjadinya perbedaan tekanan uap antara air pada bahan dengan uap air pada udara. Tekanan uap air pada bahan pada umumnya lebih besar dari tekanan uap air di udara sehingga terjadi perpindahan massa air dari bahan ke udara.

Total padatan juga dapat mengindikasikan adanya gula sederhana atau gula pereduksi yang terbentuk akibat hidrolisis oleh enzim dan menjadi padatan terlarut dalam suspensi. Hal ini dijelaskan oleh Muafi (2004), komponen-komponen yang terukur sebagai total padatan terlarut yaitu sukrosa, gula pereduksi, asam-asam organik dan protein. Selain itu, peningkatan total padatan selama proses gelatinisasi dapat disebabkan banyaknya partikel-partikel kecil dari pemotongan rantai pati terutama

pada fraksi amilopektin di daerah kristalin selama proses gelatinisasi, dimana partikel-partikel tersebut menjadi padatan terlarut dalam suspensi.

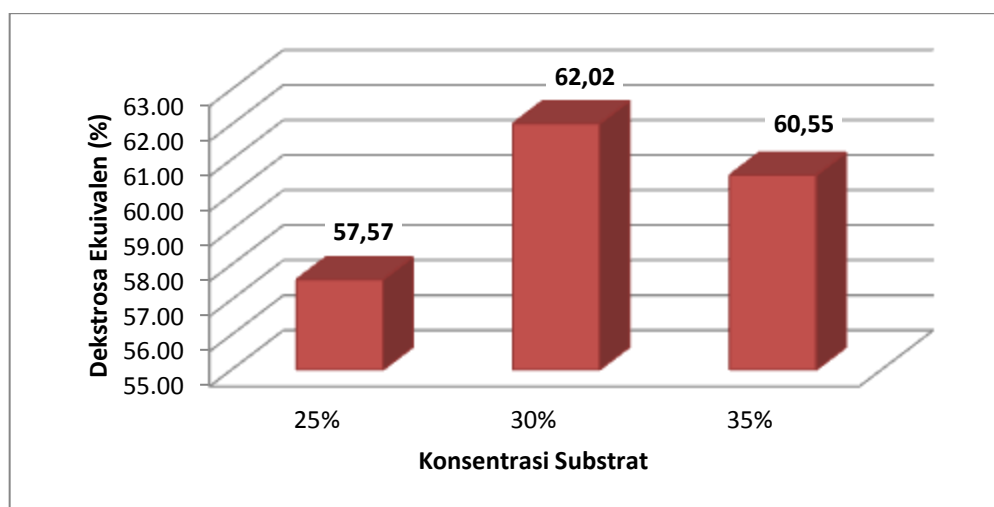
B.3 Dekstrosa Ekuivalen

DE menunjukkan banyaknya polimer pati yang telah terpotong menjadi molekul–molekul glukosa sederhana yaitu glukosa, maltosa, dan dekstrin. Nilai DE merupakan parameter utama yang menggambarkan seberapa banyak pati yang terkonversi menjadi glukosa akibat hidrolisis enzim (Ni'maturohmah dan Yunianta, 2015). Secara komersial penggunaan pati dipengaruhi oleh nilai DE. Semakin tinggi DE larutan maka semakin tinggi pula kadar glukosa dan semakin rendah kadar dekstrin.

Hasil analisa dekstrosa ekuivalen yang diperoleh (Lampiran 11a) menunjukkan bahwa rentang nilai dekstrosa ekuivalen dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu 25% berkisar antara 46,01% hingga 68,15%. Rentang nilai dekstrosa ekuivalen dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu 30% berkisar antara 50,50% hingga 72,07%. Rentang nilai dekstrosa ekuivalen dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu 35% berkisar antara 51,60% hingga 67,12%. Sedangkan rentang nilai total dekstrosa ekuivalen (Lampiran 11b) berkisar antara 50,17% hingga 66,98%.

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig} < 0,05$) terhadap nilai dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan sehingga

dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 11c). Sedangkan interaksi antara variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig} > 0,05$) terhadap nilai dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan nilai dekstrosa ekuivalen pada setiap penggunaan variasi konsentrasi substrat dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Gambar 22 menunjukkan rata-rata nilai dekstrosa ekuivalen pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30% dan 35%, dimana nilai dekstrosa ekuivalen mengalami perubahan pada setiap peningkatan konsentrasi sagu. Hasil analisa lanjut Duncan dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu terhadap nilai dekstrosa ekuivalen sirup glukosa (Lampiran 11d) menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi sagu 25% dengan nilai dekstrosa ekuivalen sebesar 57,57% mengalami peningkatan yang signifikan ke penggunaan konsentrasi sagu 30% dengan nilai dekstrosa ekuivalen sebesar 62,02%. Akan tetapi pada konsentrasi sagu

35%, nilai dekstrosa ekuivalen mengalami penurunan dari 62,02% menjadi 60,55%.

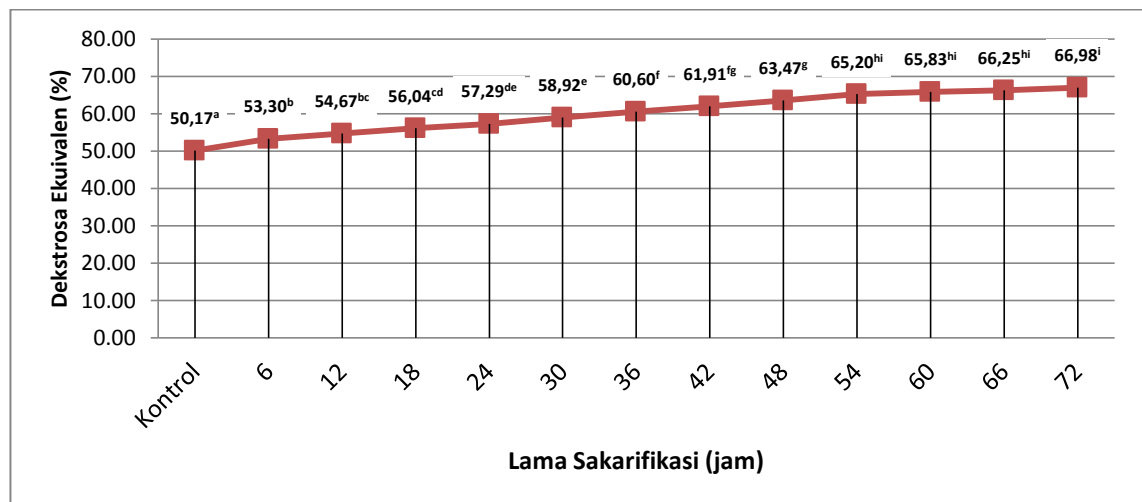
Berdasarkan Gambar 22, bahwa semakin tinggi konsentrasi sagu yang digunakan maka nilai dekstrosa ekuivalen cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena nilai dekstrosa ekuivalen ditentukan dengan menggunakan total padatan bersama dengan nilai gula pereduksi. Dekstrosa ekuivalen merupakan ukuran persentase dari ikatan glikosidik pada pati yang telah terhidrolisis, mengacu pada kadar gula pereduksi, indikasi dari banyaknya jumlah molekul dekstrosa (glukosa) yang terlepas saat hidrolisis pati, dalam basis massa kering. Sehingga meskipun nilai gula pereduksi yang dihasilkan meningkat tetapi apabila konsentrasi sagu yang digunakan juga meningkat maka dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan bisa menurun.

Dokik dkk. (1998, dalam Sun dkk., 2010) menyatakan, bahwa tingkatan hidrolisis umumnya dinyatakan sebagai dekstrosa ekuivalen, kuantitasnya mengindikasikan molekul dekstrosa (glukosa) yang terlepas saat hidrolisis pati, pada basis massa kering. Nilai dekstrosa ekuivalen berbanding terbalik dengan berat molekul yaitu derajat polimerisasi dan sebagai indikator derajat hidrolisis. Maka glukosa memiliki nilai dekstrosa ekuivalen 100 sedangkan pati memiliki nilai dekstrosa ekuivalen nol.

Beberapa penelitian telah dilakukan dan menunjukkan bahwa nilai dekstrosa ekuivalen dapat dipengaruhi oleh konsentrasi substrat yang digunakan, seperti penelitian Zadha dan Raharjo (2013), mengenai isolasi

dekstrin dari pati sorghum bahwa peningkatan konsentrasi substrat berbanding terbalik dengan nilai dekstrosa ekuivalen yang diperoleh sehingga penambahan konsentrasi substrat pati sorghum menyebabkan penurunan nilai DE dalam dekstrin yang dihasilkan.

Nilai dekstrosa ekuivalen yang diperoleh meningkat seiring lama waktu sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai dekstrosa ekuivalen sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai dekstrosa ekuivalen umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata kecuali pada lama reaksi 6 jam ke 12 jam, 12 jam ke 18 jam, 18 jam ke 24 jam, 24 jam ke 30 jam, 36 jam ke 42 jam, 42 jam ke 48 jam, 54 jam ke 60 dan 66 jam, serta 60 jam ke 66 dan 72 jam (Lampiran 11e). Gambar dibawah menunjukkan hubungan rata-rata nilai dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai dekstrosa ekuivalen pada penggunaan konsentrasi substrat 25%, 30%, dan 35% terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan nilai dekstrosa ekuivalen pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Gambar 23 menunjukkan rata-rata nilai dekstrosa ekuivalen yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai dekstrosa ekuivalen pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30% dan 35% bahwa nilai dekstrosa ekuivalen pada sirup glukosa mengalami peningkatan selama proses sakarifikasi berlangsung yakni dari waktu sakarifikasi 0 jam sebesar 50,17% meningkat hingga lama reaksi 72 jam dengan nilai DE sebesar 66,98%.

Peningkatan nilai dekstrosa ekuivalen seiring bertambahnya waktu sakarifikasi diakibatkan oleh bertambahnya waktu interaksi antara substrat berupa pati sagu dengan enzim α -amilase dan enzim glukoamilase. Peningkatan tersebut diduga disebabkan substrat dari hasil likuifikasi yang harus dihidrolisis lebih lanjut pada proses sakarifikasi masih banyak. Hidrolisis pati oleh enzim α -amilase menghasilkan glukosa, maltosa, maltotriosa, dan berbagai jenis α -limit dekstrin, yaitu oligosakarida yang terdiri dari 4 atau lebih residu gula yang banyak mengandung ikatan α -1,6

glikosidik. Kemudian potongan rantai pati yang sudah dihidrolisis oleh enzim α -amilase akan terhidrolisis lebih lanjut menjadi glukosa oleh enzim glucoamilase, sehingga glukosa yang dihasilkan juga lebih banyak.

Jariyah dkk. (2001) menyatakan, bahwa beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai DE adalah dosis enzim serta waktu sakarifikasi. Lebih lanjut menurut Mangunwidjaja dan Suryani (1994), sakarifikasi merupakan tahap hidrolis lanjutan dari tahap likuifikasi, pada proses sakarifikasi ini dekstrin dipecah lagi secara enzimatik. Waktu reaksi mempengaruhi konversi yang dihasilkan. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin tinggi pula konversi yang di hasilkan. Hal ini disebabkan oleh kesempatan enzim untuk saling berikatan dan bereaksi semakin besar, sehingga konversi yang di hasilkan semakin tinggi. Selain itu, Awwalurizki dan Putra (2008) juga menyatakan, bahwa semakin lama waktu hidrolisa maka sisi aktif enzim lebih lama menempel pada substrat sehingga komponen pati yang akan terpecah rantainya membentuk glukosa semakin banyak.

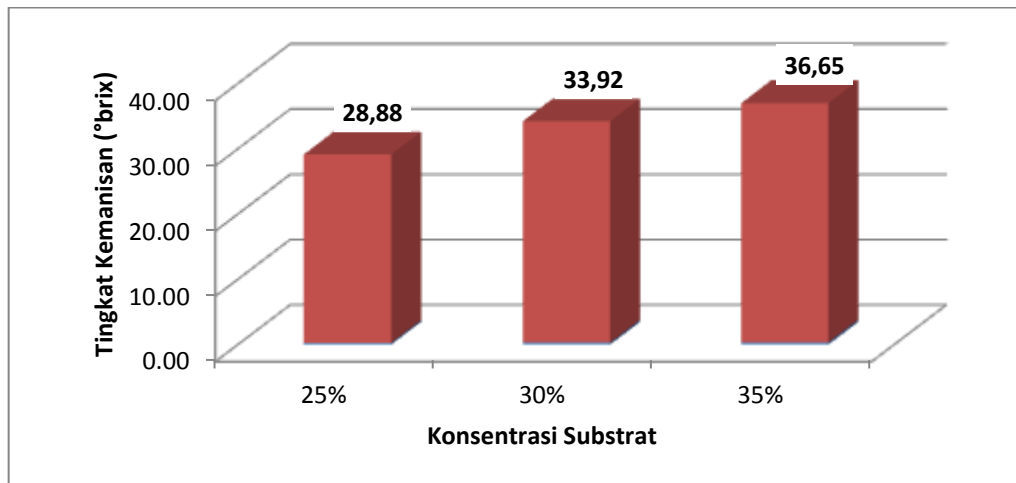
B.4. Tingkat Kemanisan

Tingkat kemanisan merupakan salah satu parameter seberapa banyak terbentuknya gula-gula sederhana dalam suatu produk atau bahan pangan. Tingkat kemanisan ($^{\circ}$ brix) juga dapat menentukan jumlah padatan yang terlarut dalam suatu larutan. Nilai total padatan terlarut diukur dengan menggunakan *hand refraktometer*. Nilai terukur dalam

skala °brix atau skala hidrometer dapat menunjukkan persen berat gula yang terdapat didalam larutan.

Hasil analisa tingkat kemanisan yang diperoleh (Lampiran 12a) menunjukkan bahwa rentang nilai tingkat kemanisan dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu 25% berkisar antara 26,00°brix hingga 30,80°brix. Rentang nilai tingkat kemanisan dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu 30% berkisar antara 31,20°brix hingga 36,20°brix. Rentang nilai dekstrosa ekuivalen dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu 35% berkisar antara 34,40°brix hingga 38,20°brix. Sedangkan rentang nilai total tingkat kemanisan (Lampiran 12b) berkisar antara 30,83°brix hingga 34,37°brix.

Hasil analisa sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi berpengaruh nyata ($\text{sig} < 0,05$) terhadap nilai tingkat kemanisan yang dihasilkan sehingga dilakukan uji lanjut Duncan (Lampiran 12c). Sedangkan interaksi antara variasi konsentrasi substrat dan lama reaksi sakarifikasi tidak berpengaruh nyata ($\text{sig} > 0,05$) terhadap nilai tingkat kemanisan yang dihasilkan sehingga pengujian lebih lanjut tidak dilakukan. Perolehan nilai tingkat kemanisan pada setiap penggunaan variasi konsentrasi substrat dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Hubungan Variasi Konsentrasi Substrat terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

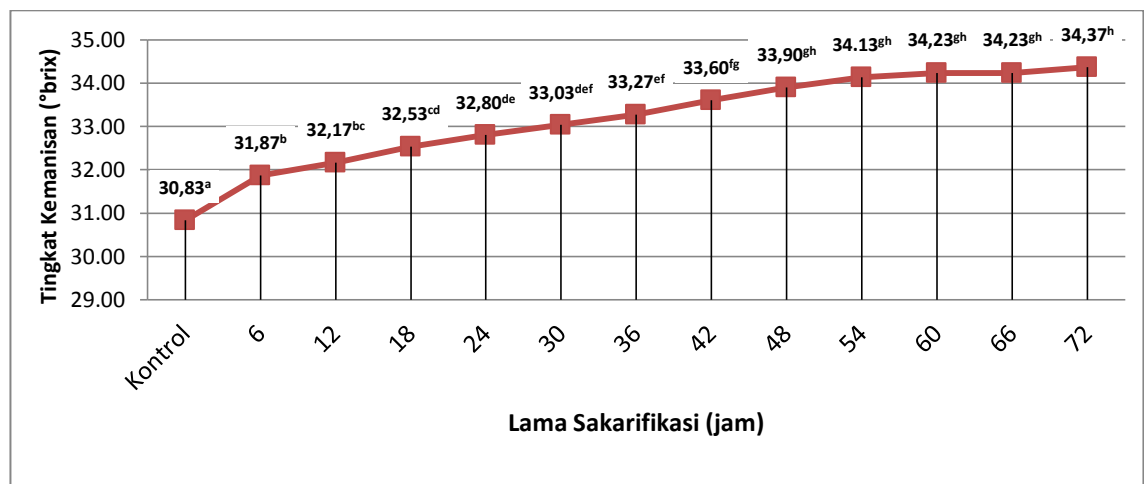
Gambar 24 menunjukkan rata-rata nilai tingkat kemanisan pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30% dan 35% bahwa nilai tingkat kemanisan mengalami peningkatan pada setiap penambahan konsentrasi sagu. Hasil analisa lanjut Duncan dengan penggunaan variasi konsentrasi sagu terhadap nilai tingkat kemanisan sirup glukosa (Lampiran 12d) menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi sagu 25% dengan nilai tingkat kemanisan sebesar 28,88°brix mengalami peningkatan yang signifikan ke penggunaan konsentrasi sagu 30% dengan nilai tingkat kemanisan sebesar 33,92°brix. Nilai tingkat kemanisan juga mengalami peningkatan dari konsentrasi 30% dengan nilai tingkat kemanisan sebesar 33,92°brix ke penggunaan konsentrasi sagu 35% dengan nilai 36,65°brix.

Peningkatan nilai tingkat kemanisan berkorelasi dengan meningkatnya total padatan yang diperoleh. Pada dasarnya total padatan terlarut suatu bahan meliputi gula reduksi, gula non reduksi, asam-asam

organik, pektin, garam, dan protein yang sangat berpengaruh pada °brix (Ranken dan Kill, 1993). Semakin tinggi konsentrasi sagu yang digunakan maka semakin banyak substrat yang dapat berikatan dengan enzim sehingga semakin banyak substrat yang dapat dikonversi oleh enzim. Sagu mengandung amilosa dan amilopektin yang dapat diubah menjadi gula sederhana oleh enzim α -amilase dan enzim glukoamilase, sehingga dengan semakin meningkatnya konsentrasi sagu yang digunakan maka semakin banyak pula amilosa dan amilopektin yang dapat bereaksi dengan enzim dan menghasilkan glukosa yang mengakibatkan total padatan semakin meningkat dan mempengaruhi tingkat kemanisan sirup glukosa. Jariyah dkk. (2011) menyatakan, bahwa semakin tinggi konsentrasi pati yang digunakan maka pati yang terhidrolisis semakin banyak sehingga glukosa yang terbentukpun semakin meningkat.

Nilai tingkat kemanisan yang diperoleh meningkat seiring lama waktu sakarifikasi. Hasil analisis lanjutan duncan pengaruh lama reaksi sakarifikasi terhadap perolehan nilai tingkat kemanisan sirup glukosa menunjukkan bahwa nilai tingkat kemanisan umumnya mengalami peningkatan yang berbeda nyata kecuali pada lama reaksi 6 jam ke 12 jam, 12 jam ke 18 jam, 18 jam ke 24 dan 30 jam, 24 jam ke 30 dan 36 jam, 30 jam ke 36 dan 42 jam, 42 jam ke 48, 54, 60, dan 66 jam, serta 48 jam ke 54, 60, 66, dan 72 jam (Lampiran 12e). Gambar dibawah menunjukkan hubungan rata-rata nilai tingkat kemanisan yang dihasilkan dengan penggabungan nilai tingkat kemanisan pada penggunaan konsentrasi

substrat 25%, 30%, dan 35% terhadap lama sakarifikasi. Hubungan lama sakarifikasi terhadap perolehan nilai tingkat kemanisan pada sirup glukosa dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Hubungan Lama Sakarifikasi terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Gambar 25 menunjukkan rata-rata nilai tingkat kemanisan yang dihasilkan dengan menggabungkan nilai tingkat kemanisan pada penggunaan variasi konsentrasi sagu 25%, 30% dan 35%, bahwa nilai tingkat kemanisan pada sirup glukosa mengalami peningkatan selama proses sakarifikasi berlangsung yakni dari waktu sakarifikasi 0 jam dengan nilai tingkat kemanisan sebesar 30,83°brix hingga lama reaksi 72 jam dengan nilai tingkat kemanisan sebesar 34,37°brix.

Tingkat kemanisan suatu bahan pangan atau larutan diperoleh dari total padatan yang terdapat didalamnya. Gambar diatas menunjukkan bahwa semakin lama waktu sakarifikasi maka tingkat kemanisan juga makin meningkat. Selama proses sakarifikasi, dekstrin hasil likuifikasi diubah menjadi unit-unit gula sederhana dan kemudian dilanjutkan pada

tahap sakarifikasi. Semakin lama waktu hidrolisis yang digunakan maka semakin banyak rantai-rantai panjang yang terpotong sehingga gula sederhana yang dihasilkanpun semakin meningkat. Pantastico (1986) menyatakan, bahwa peningkatan total padatan disebabkan karena terjadinya pemutusan rantai panjang senyawa-senyawa karbohidrat menjadi senyawa gula yang larut. Adanya peningkatan total padatan yang sejalan lamanya waktu sakarifikasi ini disebabkan karena semakin lama waktu sakarifikasi akan menyebabkan pemutusan rantai-rantai panjang senyawa karbohidrat menjadi senyawa gula yang larut menjadi semakin cepat, sehingga kandungan gula yang terdapat dalam suspensi akan semakin banyak yang larut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

G. Kesimpulan

1. Penggunaan suhu gelatinisasi terbaik dalam produksi sirup glukosa pada penelitian tahap I adalah pada suhu 121°C yang menghasilkan nilai gula pereduksi sebesar 108,34 g/L, total padatan sebesar 25,43%, dekstrosa ekuivalen sebesar 54,17%, dan tingkat kemanisan sebesar 23,22°brix.
2. Penggunaan konsentrasi substrat sagu terbaik produksi sirup glukosa pada penelitian tahap II adalah penggunaan konsentrasi sagu 30% yang menghasilkan nilai gula pereduksi sebesar 186,07 g/L, total padatan sebesar 36,13%, dekstrosa ekuivalen sebesar 62,02%, dan tingkat kemanisan sebesar 33,92°brix.
3. Penggunaan lama sakarifikasi selama 72 jam pada suhu 121°C menghasilkan sirup glukosa dengan nilai gula pereduksi sebesar 126,54 g/L, total padatan sebesar 27,15%, dekstrosa ekuivalen sebesar 63,27%, dan tingkat kemanisan sebesar 24,80°brix. Sedangkan lama sakarifikasi selama 72 jam pada konsentrasi substrat 30% menghasilkan sirup glukosa dengan nilai gula pereduksi sebesar 213,33 g/L, total padatan sebesar 38,01%, dekstrosa ekuivalen sebesar 71,11%, dan tingkat kemanisan sebesar 35,80°brix.

H. Saran

Penelitian selanjutnya agar dapat dilakukan dengan menggunakan kombinasi enzim pullulanase serta penambahan waktu reaksi sakarifikasi yang digunakan agar sirup glukosa yang diperoleh lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo, S.M., M.A.A. Hanan, dan N.M.N. Nabih. 2010. Physicochemical Properties of Starch Extracted from Different Sources and Their Application in Pudding and White Sauce. *World Journal of Dairy and Food Sciences* 5 (2): 173-182.
- Agus, I.M. 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.
- Albaasith, Z., R. N. Lubis, dan R. Tambun. 2014. Pembuatan Sirup Glukosa dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminatabalbisianacolla*) Secara Enzimatis. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 3, No. 2: 15-18.
- Ambriyanto, K. S. 2010. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Aerob Pendegradasi Selulosa dari Serasah Daun Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum* Schaum). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. ITS. (Skripsi).
- Andarwulan, N., F. Kusnandar, D. Herawati. 2011. Analisis Pangan. Dian Rakyat: Jakarta.
- Anugrahati, N. A. 1999. Optimasi Normalitas Asam dan Waktu Hidrolisa pada Pembuatan Sirup Glukosa Ganyong Secara kimiawi dan Kombinasi Enzimatis Kimiawi. I. Naskah Skripsi Fakultas Biologi Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- Anonim. 2006. Sagu Sebagai Bahan Pangan. [Online] Ebookpangan.com. Diakses tanggal 4 Desember 2017.
- Apriyantono, A. 1989. Analisis Pangan. Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat antar Universitas.
- Ardiansyah, A. 2007. Optimasi Karbonatasi untuk Pemucatan Raw Sugar Dengan Menggunakan Reaktor Venturi Bersirkulasi. IPB. Bogor.
- Awwalurrizki, N. dan S.R. Putra. 2008. Hidrolisis Sukrosa Dengan Enzim Invertase Untuk Produksi Etanol Menggunakan *Zymomonas mobilis*. Prosiding Skripsi Semester Genap 2008/2009, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Azwar, D dan R. Erwanti. 2010. Pembuatan Sirup Glukosa Dari Kimpul (*Xanthosoma violaceum Schott*) Dengan Hidrolisa Enzimatis. *J. Teknik Kimia* Vol 7 No 1: 1-6.

- Badan Standardisasi Nasional. 1992. Sirup Glukosa SNI 01-2978-1992. Pusat Standardisasi Industri Departemen Perindustrian. <http://sisni.bsn.go.id/>. Diakses 12 Februari 2018
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Tepung Sagu SNI 01-3729-2008. Pusat Standardisasi Industri Departemen Perindustrian. <http://sisni.bsn.go.id/>. Diakses 12 Maret 2017
- Belitz, H.D. dan W. Grosch. 1999. Food Chemistry. 2nd Ed. Springer. Berlin.
- Chaplin, M. 2016. Starch. [Online] www1.lsbu.ac.uk/water/starch.html. Diakses tanggal 18 Desember 2016.
- Charley, H. dan C. Weaver. 1998. Foods (A Scientific Approach). Prentice hall Inc. New Jersey
- Cheetham, N. W. H., dan L. Tao. 1998. Variation in Crystalline Type with Amylose Content in Maize Starch Granules: An X-ray Powder Diffraction Study. *Carbohydrate Polymers*, 36 (4): 277-284.
- de Man, J.M. (1997). Kimia Makanan. (Terjemahan dari Principles of Food Chemistry, diterjemahkan oleh Padmawinata, Prof. Dr. Kosasih). Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Desrosier, N.W. 1988. Teknologi Pengawetan Pangan. Terjemahan Muchji Muljoharjo. UI Press. Jakarta.
- Djoefrie, M. H. B. 1999. Pemberdayaan Tanaman Sagu Sebagai Penghasil Bahan Pangan Alternatif dan Bahan Baku Agroindustri Potensial Dalam Rangka Ketahanan Pangan Nasional. Fakultas Pertanian, IPB: Bogor.
- Dincbas, S. dan E. Demirkan. 2010. Comparison of Hydrolysis Abilities onto Soluble and Commercial Raw Starches of Immobilized and Free *B.amyloliquefaciens* α -Amylase. *Journal Biol. Environ. Sci.* 4(11): 87–95.
- Direktorat Gizi Departemen Kesehatan. 1995. Daftar Komposisi Zat Gizi Pangan Indonesia. Departemen Kesehatan. Jakarta.
- Estiasih, T. 2006. Teknologi dan Aplikasi Polisakarida dalam Pengolahan Pangan. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya.
- Fitriani, S. 2008. Pengaruh Suhu dan Lama Pengeringan Terhadap Beberapa Mutu Manisan Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) Kering. *Jurnal Teknologi Pangan* 7: 32-37
- Gao, H., J. Cai, W. Han, H. Huai, Y. Chen, dan C. Wei. 2014. Comparison of Starches Isolated from Three Different *Trapa* Species. *Food Hydrocolloids*, 37: 174-181.
- Harper, J. M. 1990. Extrusion of Foods vol I. CRC Press: Florida.

- Haryanto, B. dan P. Pangloli. 1992. Potensi dan Pemanfaatan Sagu. Kanisius: Yogyakarta.
- Heldman, D. R. 2012. Food Procces Engineering Second Edition. The AVI Publishing Company, Inc. Wesport
- Histifarina, D., D. Musaddad, dan E. Murtiningsih. Teknik Pengeringan dalam Oven untuk Irisan Wortel Kering Bermutu. J. Hort. 14(2):107-112
- Huang, L. dan L.S. Liu. 2009. Simultaneous Determination of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Food and Agricultural Materials Using a Transient Plane-Source Method. J Food Engin. 95:179-185.
- Imanningsih, N. 2012. Profil Gelatinisasi Beberapa Formulasi Tepung-Tepungan Untuk Pendugaan Sifat Pemasakan. Penel Gizi Makan, 35(1): 13-22.
- Jariyah, T. Susanto, dan Yuanita. 2001. Analisis Komponen Gula Hasil Hidrolisis Pati Garut dengan Enzim Clarase L. Jurnal Semnas Papti, (Hal 29-38), Vol B Oktober, Semarang.
- Jariyah. 2002. Analisis Komponen Gula pada Sirup Maltosa Hasil Hidrolisis Pati Garut Secara Enzimatis. Tesis. Program Pascasarjana Univrsitas Brawijaya. Malang.
- Jariyah, R. Nurismanto, dan H.P. Sudaryati. 2011. Produksi Sirup Glukosa Hasil Hidrolisis Enzimatis Pati Garut. Fakultas Teknologi Industri. UPN "Veteran" Jawa Timur
- Joung An, H. 2005. Effects of Ozonation and Addition of Amino acids on Properties of Rice Starches. Dissertation. Department of Food Science: Louisiana State University.
- Kalsum, N dan Surfiana. 2013. Karakteristik Dekstrin dari Pati Ubi Kayu yang Diproduksi dengan Metode Prigelatinisasi Parsial. Jurnal Penelitian Pertanian Terapan Vol. 13 (1): 13-23.
- Kim, Y.S., D.P. Wiesenborn, J.H. Lorenzen, dan P. Berglund. 1996. Suitability of Edible Bean and Potato Starches for Starch Noodles. Cereal Chem., 73. 302-308.
- Kusnandar, F. 2010. Kimia Pangan Komponen Makro. Seri 1. Dian Rakyat, Jakarta.
- Kusumawardhani, G. D. 2001. Pemekatan Sirup Glukosa Dengan Proses Mikrofiltrasi Crossflow. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Lehninger, A.L. 1997. Dasar-dasar Biokimia. Jilid I. Alih Bahasa: Maggy Thenawidjaja. Erlangga, Jakarta

- Mangunwidjaja, D. dan A. Suryani. 1994. Teknologi Bioproses. Penebar Swadaya: Jakarta.
- Meikapasa, N.W.P dan I.G.N.O Seventilofa. 2016. Karakteristik Total Padatan Terlarut, Stabilitas Likopen Dan Vitamin C Saus Tomat Pada Berbagai Kombinasi Suhu Dan Waktu Pemasakan. *GaneÇ Swara* Vol. 10 No.1 Maret 2016 (81-86).
- Misset, O. 2003. Xylose (Glucose) Isomerase. In J.R. Whitaker, A.G.J. Voragen and D.W.S. Wong (ed). *Handbook of Food Enzymology*. Meracell Dekker, Inc. New York.
- Mitsuiki S., K. Mukaea, M. Sakai, M. Goto, S. Hayashida, dan K. Furukawa. 2005. Comparative Characterization of Raw Starch Hydrolizing α Amylase from Various Bacillus Strains. *J. Enzmic Tech* 37, 410-416.
- Muafi K. 2004. Produksi Asam Asetat Kasar dari Jerami Nangka. Skripsi Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Muchtadi, D., N.S. Palupi, dan M. Astawan. 1992. Enzim Dalam Industri Pangan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi PAU IPB. Bogor.
- Mukarramah, Ansharullah, dan L. Rianda. 2016. Pengaruh Penambahan Enzim Alfa Amilase Pada Suhu Yang Berbeda Terhadap Karakteristik Sirup Glukosa. *J. Sains Dan Teknologi Pangan* Vol. 1, No. 3, P. 246-254.
- Nielsen, S. S. 2010. Introduction to Food Analysis, In: Nielsen SS (editor.) *Food Analysis 4th ed*. Springer. West Lafayette.
- Nilasari, O.W., W.H. Susanto, dan J.M. Maligan. 2017. Pengaruh Suhu Dan Lama Pemasakan Terhadap Karakteristik Lempok Labu Kuning (Waluh). *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol.5 No.3:15-26.
- Ni'maturohmah, E. dan Yunianta. 2015. Hidrolisis Pati Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) Oleh Enzim B-Amilase Untuk Pembuatan Dekstrin. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol. 3 No 1 (292-302).
- Oesman, F., Nurhaida, dan Malahayati. 2009. Production of Glucose Syrup With Acid Hydrolysis Method From Yam Starch. *Jurnal Natural*. Vol.9, No.2.
- Omemu, A.M., I. Akpan, M.O. Bankole, dan O.D. Tenida. 2005. Hydrolysis of Raw Tuber Starches by Amylase of *Aspergillus niger* AMO7 Isolated from The Soil. *African Journal of Biotechnology*, 4 (1), pp. 19-25.
- Pandey, A., P. Nigam, C.R. Soccol, V.T. Soccol, D. Singh, dan R. Mohan. 2000. Review: Advances in Microbial Amylases. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 31: 135–152.

- Pantastico, B.E.R. 1986. Fisiologi Pasca Panen. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Poedjadi, A. 1994. Dasar-dasar Biokimiawi. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Pudiastuti, L., dan T. Pratiwi. 2013. Pembuatan Dekstrin dari Tepung Tapioka secara Enzimatik dengan Pemanas Microwave. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri UNDIP Vol. 2, No. 2. 169-176.
- Purba, E. 2009. Comparison of Hydrolisis of Cassava Starch (*Manihot esculenta*) and Sweet Potato Starch (*Ipomoea batatas*) with Cold Process Using Enzyme Acid-Fungal Amylase and Glucoamylase. International Journal of Science Engineering and Technology Vol. 2, No. 2.
- Ranken, M.D. dan R.C. Kill. 1993. Food Industries Manual. 23 Edition. Blackie Academic and Professional.
- Retno, E., E. Kriswiyanti., dan A. Nur. 2009. Bioetanol Fuel Grade Dari Tepung Talas (*Colocasia esculenta*). Ekuilibrium 8(1); 1–6.
- Riana. 2014. Pengolahan dan Pemanfaatan Tanaman Sagu. <http://m.jitunews.com/read/3600/pengolahan-dan-pemanfaatan-tanaman-sagu>. Diakses tanggal 4 Desember 2017.
- Richana, N. dan T. C. Sunarti. 2004. Karakterisasi Sifat Fisikokimia Tepung Umbi dan Tepung Pati Dari Umbi Ganyong, Suweg, Ubi, Kelapa, dan Gembili. J.Pascapanen 1(1): 29-37.
- Richana, N., P. Lestari, N. Chilmijati dan S. Widowati. 2010. Karakterisasi Bahan Berpati (Tapioka, Garut dan Sagu) dan Pemanfaatannya Menjadi Glukosa Cair. J. Pascapanen, 1(1): 396-406.
- Richardson, P.H., R. Jeffcoat, dan Y.C. Shi. 2000. High Amylose Starches: from Biosynthesis to Their Use as Food Ingredients. MRS Bulletin. <http://www.mrs.org/publications/bulletin>. Diakses tanggal 28 Juli 2018
- Risnoyatiningsih, S. 2011. Hidrolisis Pati Ubi Jalar Kuning menjadi Glukosa Secara Enzimatis. Jurnal Teknik kimia Vol. 5 No. 2: 417-424.
- Sari, V.R, dan J. Kusnadi. 2015. Pembuatan Petis Instan (Kajian Jenis dan Proporsi Bahan Pengisi). Jurnal Pangan dan Agroindustri 3 (2): 381-389.
- Singh, N., R. Bedi, R. Garg, M. Garg, dan J Singh. 2009. Physico-chemical, Thermal and Pasting Properties of Fractions Obtained During Three Successive Reduction Milling of Different Corn Types. Food Chemistry 113(1): 71-77.

- Sivaramakrishnan, S., D. Gangadharan., K. M. Nampoothiri., C. R. Soccol & A. Pandey. 2006. α -Amylases from Microbial Sources. *Food Technol. Biotechnol* 44 (2): 173–184.
- Smits, A. L. M. 2001. *The Molecular Organization in Starch Based Products The Influence of Polyols Used As Plasticizers*. ISBN: 90393288-0.
- Soeroso, L., P. Andayaningsih, N. Haska, R. Safitri, dan B. Marwoto. 2008. Hidrolisis Serbuk Empulur Sagu (*Metroxylon sagu*, Rottb.) dengan HCl untuk Meningkatkan Efektivitas Hidrolisis Kimiawi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008* ISBN 978-979-1165-74-7.
- Sudarmadji,S., B. Haryono, dan Suhardi. 2007. *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Edisi 2. Kerjasama Liberty, Yogyakarta dengan PAU Pangan dan Gizi, UGM, Yogyakarta
- Sukoyo, A., B.D. Argo, dan R. Yulianingsih. 2014. Analisis Pengaruh Suhu Pengolahan dan Derajat Brix terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Sensoris Gula Kelapa Cair dengan Metode Pengolahan Vakum. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis* Vol. 2 No.2 (170-179).
- Sun, J., R. Zhao, J. Zeng, G. Li, dan X. Li. 2010. Characterization of Destrins with Different Dextrose Equivalents. *Molecules* 15, (5162-5173).
- Sundaram, A., dan T. P. K. Murthy. 2014. α -amylase Production and Applications: Review. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, Vol. 2, No. 4, 166-175.
- Sutanto, E., Y. Sahan, dan D. Octavia. 2014. Konversi Tepung Sagu Menjadi Sirup Glukosa Dengan Menggunakan Katalis Asam Klorida. *SAGU*, Vol. 13 No. 1:22-28.
- Sutarno, R. J., A. Z. Titin, dan I. Nora. 2013. Hidrolisis Enzimatis Selulosa Dari Ampas Sagu Menggunakan Campuran Selulase Dari *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger*. *JKK*, volume 2(1): 52-57.
- Tang, H., T. Mitsunaga, dan Y. Kawamura. 2006. Molecular Arrangement in Blocklets and Starch Granule Architecture. *Carbohydr Polym*. 63:555-560.
- Terahara, N., I. Konczak, H. Ono, M. Yoshimoto and O. Yamakawa. 2004. Characterization of Acylated Anthocyanins in Callus Induced from Storage Root of Purple-Fleshed Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 5:297-286.
- Ticoalu, G. D., Yunianta, dan J.M. Maligan. 2016. Pemanfaatan Ubi Ungu (*Ipomoea batatas*) Sebagai Minuman Berantosianin Dengan Proses Hidrolisis Enzimatis. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol. 4 No 1 p. 46-55.

- Tjokroadikoesoemo, P.S. 1993. HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya. PT Gramedia, Jakarta
- Wattanachant, S., S.K.S. Muhammad, D.M. Hashim, dan R.A. Rahman. 2003. Effect of Crosslinkin Reagents and Hydroxypropylation Levels on Dual-Modified Sago Starch Properties. *Food Chemistry* 80, 463–471.
- Whitehurts, R.J. dan B.A. Law. 2002. *Enzymes in Food Technology*. Sheffield Academic Press. Canada.
- Winarno, F.G. 1991. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Wirakartakusumah, M. A., S. Eriyatno, M. Fardiaz, D. Thenawidjaja, B. Muchtadi, S. L. Jenie, dan Machfud. 1984. *Studi Tentang Ekstraksi, Sifat-Sifat Fisiko Kimia Pati Sagu dan Pengkajian Enzim*. Dirjen Dikti, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Yunianta, T. S., T. Estiasih, dan S.N. Wulan. 2010. Hidrolisis Secara Sinergis Pati Garut (*Marantha arundinaceae* L.) Oleh Enzim α -Amilase, Glukoamilase, dan Pullulanase Untuk Produksi Sirup Glukosa. *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol. 11 No. 2 (78 – 86).
- Yunianta, N. Hidayat, F.C. Nisa, A.Z. Mubarak, dan S.N. Wulan. 2015. Variations in Dextrose Equivalent and Dynamic Rheology of Dextrin Obtained by Enzymatic Hydrolysis of Edible Canna Starch. *International Journal of Food Properties* Vol. 18 No. 12 (2726-2734).
- Yusmarini, R. Indriati, T. Utami, dan Y. Marsono. 2003. Evaluasi Mutu Susu Yang Dibuat Dari Beberapa Varietas Kedelai. Vol (2): 29-34.
- Zadha, H. A. dan W. Raharjo. 2013. Isolasi Dekstrin Dari Pati Sorgum Dengan Proses Hidrolisa Parsial Menggunakan Enzim α -Amilase. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* Vol. 2 No. 2 (116-121).

LAMPIRAN

Tahap I. Suhu Gelatinisasi

Lampiran 1. Nilai Gula Pereduksi, Total Padatan, Dekstrosa Ekuivalen, dan Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa dengan Penggunaan Suhu Gelatinisasi 87°C dan 121°C

Suhu Gelatinisasi (°C)	Gula Pereduksi (g/L)	Total Padatan (%)	Dekstrosa Ekuivalen (%)	Tingkat Kemanisan (°brix)
87	94.56	22.95	47.28	20.82
121	108.34	26.04	55.14	23.83

Lampiran 2. Nilai Rekap Gula Pereduksi, Total Padatan, Dekstrosa Ekuivalen, dan Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa dengan Penggunaan Lama Sakarifikasi

Lama Sakarifikasi (jam)	Gula Pereduksi (g/L)	Total Padatan (%)	Dekstrosa Ekuivalen (%)	Tingkat Kemanisan (°brix)
0 (kontrol)	83.55	21.55	41.77	19.35
6	89.34	23.00	44.67	21.20
12	91.90	23.26	45.95	21.15
18	94.10	23.50	47.05	21.40
24	96.26	23.83	48.13	21.55
30	99.48	24.09	49.74	21.85
36	102.51	24.43	51.25	22.30
42	102.59	24.39	51.29	22.15
48	106.10	24.73	53.05	22.50
54	108.94	24.99	54.47	22.75
60	111.58	25.24	55.79	23.05
66	114.23	25.55	57.11	23.35
72	118.23	25.92	59.11	23.60

Lampiran 3a. Perolehan Nilai Gula Pereduksi (g/L) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Suhu Gelatinisasi

Lama Reaksi Sakarifikasi	Suhu 87°C		Rata-rata (g/L)	Suhu 121°C		Rata-rata (g/L)
	U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	77.51	78.31	77.91	87.90	90.46	89.18
6 jam	82.47	84.71	83.59	92.86	97.34	95.10
12 jam	85.19	87.58	86.38	95.26	99.58	97.42
18 jam	86.46	89.50	87.98	99.10	101.34	100.22
24 jam	89.18	91.26	90.22	101.66	102.94	102.30
30 jam	92.06	94.78	93.42	103.10	107.99	105.54
36 jam	94.94	99.42	97.18	106.39	109.27	107.83
42 jam	92.86	96.06	94.46	108.63	112.79	110.71
48 jam	97.50	98.78	98.14	113.11	115.03	114.07
54 jam	100.54	101.02	100.78	115.03	119.19	117.11
60 jam	102.46	102.94	102.70	117.59	123.34	120.47
66 jam	105.43	107.67	106.55	118.87	124.94	121.90
72 jam	107.99	111.83	109.91	123.66	129.42	126.54
Total	1214.60	1243.87	1229.23	1383.16	1433.63	1408.40
Rata-rata	93.43	95.68	94.56	106.40	110.28	108.34

Lampiran 3b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Suhu Gelatinisasi dan Lama Sakarifikasi terhadap Kadar Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Penggunaan Variasi Suhu Gelatinisasi		Rata-rata (g/L)
	Suhu 87°C	Suhu 121°C	
0 jam (kontrol)	77.91	89.18	83.55
6 jam	83.59	95.10	89.34
12 jam	86.38	97.42	91.90
18 jam	87.98	100.22	94.10
24 jam	90.22	102.30	96.26
30 jam	93.42	105.54	99.48
36 jam	97.18	107.83	102.51
42 jam	94.46	110.71	102.59
48 jam	98.14	114.07	106.10
54 jam	100.78	117.11	108.94
60 jam	102.70	120.47	111.58
66 jam	106.55	121.90	114.23
72 jam	109.91	126.54	118.23
Rataan	94.56	108.34	

Lampiran 3c. Analisa Sidik Ragam Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Suhu Gelatinisasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7632.600 ^a	25	305.304	51.206	.000
Intercept	535156.866	1	535156.866	89756.551	.000
Suhu_Gelatinisasi	2469.376	1	2469.376	414.164	.000**
Lama_Sakarifikasi	5082.729	12	423.561	71.040	.000**
Suhu_Gelatinisasi * Lama_Sakarifikasi	80.495	12	6.708	1.125	.383 ^{tn}
Error	155.020	26	5.962		
Total	542944.487	52			
Corrected Total	7787.620	51			

Keterangan : ^{tn}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata
 Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata
 Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata
 Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 3d. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Kontrol	4	83.5450												
6 jam	4		89.3450											
12 jam	4		91.9025	91.9025										
18 jam	4			94.1000	94.1000									
24 jam	4				96.2600	96.2600								
30 jam	4					99.4825	99.4825							
36 jam	4						102.5050	102.5050						
42 jam	4						102.5850	102.5850						
48 jam	4							106.1050	106.1050					
54 jam	4								108.9450	108.9450				
60 jam	4									111.5825	111.5825			
66 jam	4										114.2275			
72 jam	4											118.2250		
Sig.		1.000	.151	.214	.222	.073	.100	.058	.112	.139	.138			1.000

Lampiran 4a. Perolehan Nilai Total Padatan (%) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Suhu Gelatinisasi

Lama Reaksi Sakarifikasi	Suhu 87°C		Rata-rata (%)	Suhu 121°C		Rata-rata (%)
	U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	20.10	20.53	20.32	22.19	23.38	22.79
6 jam	21.70	21.89	21.79	23.65	24.77	24.21
12 jam	22.06	22.06	22.06	23.88	25.02	24.45
18 jam	22.30	22.34	22.32	24.06	25.31	24.68
24 jam	22.66	22.69	22.67	24.38	25.57	24.98
30 jam	22.87	22.98	22.92	24.67	25.85	25.26
36 jam	23.15	23.42	23.29	25.04	26.12	25.58
42 jam	22.71	23.23	22.97	25.13	26.49	25.81
48 jam	23.30	23.56	23.43	25.41	26.65	26.03
54 jam	23.57	23.79	23.68	25.60	26.98	26.29
60 jam	23.89	24.00	23.94	25.89	27.17	26.53
66 jam	24.16	24.37	24.27	26.19	27.48	26.83
72 jam	24.51	24.88	24.69	26.54	27.76	27.15
Total	296.97	299.75	298.36	322.61	338.56	330.59
Rata-rata	22.84	23.06	22.95	24.82	26.04	25.43

Lampiran 4b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Suhu Gelatinisasi dan Lama Sakarifikasi terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Penggunaan Variasi Suhu Gelatinisasi		Rata-rata (%)
	Suhu 87°C	Suhu 121°C	
0 jam (kontrol)	20.32	22.79	21.55
6 jam	21.79	24.21	23.00
12 jam	22.06	24.45	23.26
18 jam	22.32	24.68	23.50
24 jam	22.67	24.98	23.83
30 jam	22.92	25.26	24.09
36 jam	23.29	25.58	24.43
42 jam	22.97	25.81	24.39
48 jam	23.43	26.03	24.73
54 jam	23.68	26.29	24.99
60 jam	23.94	26.53	25.24
66 jam	24.27	26.83	25.55
72 jam	24.69	27.15	25.92
Rataan	22.95	25.43	

Lampiran 4c. Analisa Sidik Ragam Total Padatan (%) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Suhu Gelatinisasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	147.560 ^a	25	5.902	14.988	.000
Intercept	30429.085	1	30429.085	77268.894	.000
Suhu_Gelatinisasi	79.906	1	79.906	202.905	.000**
Lama_Sakarifikasi	67.361	12	5.613	14.254	.000**
Suhu_Gelatinisasi * Lama_Sakarifikasi	.294	12	.024	.662	1.000 ^{tn}
Error	10.239	26	.394		
Total	30586.884	52			
Corrected Total	157.799	51			

Keterangan : ^{tn}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata
 Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata
 Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata
 Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 4d. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kontrol	4	21.5500								
6 jam	4		23.0025							
12 jam	4		23.2550	23.2550						
18 jam	4		23.5025	23.5025	23.5025					
24 jam	4		23.8250	23.8250	23.8250	23.8250				
30 jam	4			24.0925	24.0925	24.0925	24.0925			
42 jam	4				24.3900	24.3900	24.3900	24.3900		
36 jam	4				24.4325	24.4325	24.4325	24.4325		
48 jam	4					24.7300	24.7300	24.7300	24.7300	
54 jam	4						24.9850	24.9850	24.9850	24.9850
60 jam	4							25.2375	25.2375	25.2375
66 jam	4								25.5500	25.5500
72 jam	4									25.9225
Sig.		1.000	.101	.095	.070	.078	.082	.098	.102	.062

Lampiran 5a. Perolehan Nilai Dekstrosa Ekuivalen (%) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Suhu Gelatinisasi

Lama Reaksi Sakarifikasi	Suhu 87°C		Rata-rata (%)	Suhu 121°C		Rata-rata (%)
	U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	38.75	39.15	38.95	43.95	45.23	44.59
6 jam	41.23	42.35	41.79	46.43	48.67	47.55
12 jam	42.59	43.79	43.19	47.63	49.79	48.71
18 jam	43.23	44.75	43.99	49.55	50.67	50.11
24 jam	44.59	45.63	45.11	50.83	51.47	51.15
30 jam	46.03	47.39	46.71	51.55	53.99	52.77
36 jam	47.47	49.71	48.59	53.19	54.63	53.91
42 jam	46.43	48.03	47.23	54.31	56.39	55.35
48 jam	48.75	49.39	49.07	56.55	57.51	57.03
54 jam	50.27	50.51	50.39	57.51	59.59	58.55
60 jam	51.23	51.47	51.35	58.79	61.67	60.23
66 jam	52.71	53.83	53.27	59.43	62.47	60.95
72 jam	53.99	55.91	54.95	61.83	64.71	63.27
Total	607.30	621.93	614.62	691.58	716.82	704.20
Rata-rata	46.72	47.84	47.28	53.20	55.14	54.17

Lampiran 5b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Suhu Gelatinisasi dan Lama Sakarifikasi terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Penggunaan Variasi Suhu Gelatinisasi		Rata-rata (%)
	Suhu 87°C	Suhu 121°C	
0 jam (kontrol)	38.95	44.59	41.77
6 jam	41.79	47.55	44.67
12 jam	43.19	48.71	45.95
18 jam	43.99	50.11	47.05
24 jam	45.11	51.15	48.13
30 jam	46.71	52.77	49.74
36 jam	48.59	53.91	51.25
42 jam	47.23	55.35	51.29
48 jam	49.07	57.03	53.05
54 jam	50.39	58.55	54.47
60 jam	51.35	60.23	55.79
66 jam	53.27	60.95	57.11
72 jam	54.95	63.27	59.11
Rataan	47.28	54.17	

Lampiran 5c. Analisa Sidik Ragam Desktrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Suhu Gelatinisasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1907.847 ^a	25	76.314	51.167	.000
Intercept	133779.072	1	133779.072	89695.704	.000
Suhu_Gelatinisasi	617.275	1	617.275	413.868	.000**
Lama_Sakarifikasi	1270.486	12	105.874	70.986	.000**
Suhu_Gelatinisasi * Lama_Sakarifikasi	20.085	12	1.674	1.122	.385 ^{tn}
Error	38.778	26	1.491		
Total	135725.697	52			
Corrected Total	1946.625	51			

Keterangan : ^{tn}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata
 Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata
 Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata
 Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 5d. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Kontrol	4	41.7700												
6 jam	4		44.6700											
12 jam	4		45.9500	45.9500										
18 jam	4			47.0500	47.0500									
24 jam	4				48.1300	48.1300								
30 jam	4					49.7400	49.7400							
36 jam	4						51.2500	51.2500						
42 jam	4						51.2900	51.2900						
48 jam	4							53.0500	53.0500					
54 jam	4								54.4700	54.4700				
60 jam	4									55.7900	55.7900			
66 jam	4										57.1100			
72 jam	4											59.1100		
Sig.		1.000	.150	.214	.222	.074	.101	.058	.112	.138	.138			1.000

Lampiran 6a. Perolehan Nilai Tingkat Kemanisan (°brix) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Suhu Gelatinisasi

Lama Reaksi Sakarifikasi	Suhu 87°C		Rata-rata (°brix)	Suhu 121°C		Rata-rata (°brix)
	U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	18.00	18.20	18.10	20.00	21.20	20.60
6 jam	19.40	21.60	20.50	21.40	22.40	21.90
12 jam	20.00	20.00	20.00	21.60	23.00	22.30
18 jam	20.20	20.20	20.20	22.00	23.20	22.60
24 jam	20.40	20.40	20.40	22.20	23.20	22.70
30 jam	20.60	20.80	20.70	22.40	23.60	23.00
36 jam	21.00	21.20	21.10	23.00	24.00	23.50
42 jam	20.40	21.00	20.70	23.00	24.20	23.60
48 jam	21.20	21.20	21.20	23.20	24.40	23.80
54 jam	21.40	21.40	21.40	23.40	24.80	24.10
60 jam	21.60	22.00	21.80	23.60	25.00	24.30
66 jam	22.00	22.20	22.10	24.00	25.20	24.60
72 jam	22.20	22.60	22.40	24.20	25.40	24.80
Total	268.40	272.80	270.60	294.00	309.60	301.80
Rata-rata	20.65	20.98	20.82	22.62	23.82	23.22

Lampiran 6b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Suhu Gelatinisasi dan Lama Sakarifikasi terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Penggunaan Variasi Suhu Gelatinisasi		Rata-rata (°brix)
	Suhu 87°C	Suhu 121°C	
0 jam (kontrol)	18.10	20.60	19.35
6 jam	20.50	21.90	21.20
12 jam	20.00	22.30	21.15
18 jam	20.20	22.60	21.40
24 jam	20.40	22.70	21.55
30 jam	20.70	23.00	21.85
36 jam	21.10	23.50	22.30
42 jam	20.70	23.60	22.15
48 jam	21.20	23.80	22.50
54 jam	21.40	24.10	22.75
60 jam	21.80	24.30	23.05
66 jam	22.10	24.60	23.35
72 jam	22.40	24.80	23.60
Rataan	20.82	23.22	

Lampiran 6c. Analisa Sidik Ragam Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Suhu Gelatinisasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	137.828 ^a	25	5.513	11.635	.000
Intercept	25203.212	1	25203.212	53188.597	.000
Suhu_Gelatinisasi	74.880	1	74.880	158.026	.000**
Lama_Sakarifikasi	61.508	12	5.126	10.817	.000**
Suhu_Gelatinisasi * Lama_Sakarifikasi	1.440	12	.120	.253	.992 ^{tn}
Error	12.320	26	.474		
Total	25353.360	52			
Corrected Total	150.148	51			

Keterangan : ^{tn}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata
 Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata
 Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata
 Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 6d. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Kontrol	4	19.3500							
12 jam	4		21.1500						
6 jam	4		21.2000	21.2000					
18 jam	4		21.4000	21.4000	21.4000				
24 jam	4		21.5500	21.5500	21.5500				
30 jam	4		21.8500	21.8500	21.8500	21.8500			
42 jam	4		22.1500	22.1500	22.1500	22.1500	22.1500		
36 jam	4			22.3000	22.3000	22.3000	22.3000	22.3000	
48 jam	4				22.5000	22.5000	22.5000	22.5000	22.5000
54 jam	4					22.7500	22.7500	22.7500	22.7500
60 jam	4						23.0500	23.0500	23.0500
66 jam	4							23.3500	23.3500
72 jam	4								23.6000
Sig.		1.000	.080	.055	.055	.109	.109	.062	.051

Tahap II. Konsentrasi Substrat

Lampiran 7. Nilai Rekap Gula Pereduksi, Total Padatan, Dekstrosa Ekuivalen, dan Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa dengan Penggunaan Konsentrasi Substrat 25%, 30%, dan 35%

Konsentrasi Substrat (%)	Gula Pereduksi (g/L)	Total Padatan (%)	Dekstrosa Ekuivalen (%)	Tingkat Kemanisan (°brix)
25	143.93	31.09	57.57	28.88
30	186.07	36.13	62.02	33.92
35	211.94	38.33	60.55	36.65

Lampiran 8. Nilai Rekap Gula Pereduksi, Total Padatan, Dekstrosa Ekuivalen, dan Tingkat Kemanisan Sirup Glukosa dengan Penggunaan Lama Sakarifikasi

Lama Sakarifikasi (jam)	Gula Pereduksi (g/L)	Total Padatan (%)	Dekstrosa Ekuivalen (%)	Tingkat Kemanisan (°brix)
0	135.80	30.41	48.77	28.28
6	144.32	31.62	51.86	29.38
12	147.93	31.93	53.18	29.70
18	151.67	32.19	54.56	30.05
24	154.98	32.49	55.76	30.28
30	159.46	32.75	57.39	30.53
36	163.83	33.01	58.93	30.83
42	167.49	33.31	60.27	31.10
48	171.83	33.58	61.86	31.38
54	176.51	33.81	63.54	31.63
60	178.40	33.92	64.43	31.75
66	179.40	34.07	64.93	31.83
72	181.73	34.24	66.06	31.98

Lampiran 9a. Perolehan Nilai Gula Pereduksi (g/L) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Konsentrasi Substrat

Lama Reaksi Sakarifikasi	Konsentrasi 25%		Rata-rata	Konsentrasi 30%		Rata-rata	Konsentrasi 35%		Rata-rata
	U1	U2		U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	115.03	119.19	117.11	159.17	151.50	155.33	182.53	180.61	181.57
6 jam	122.38	127.50	124.94	170.37	160.13	165.25	194.36	189.56	191.96
12 jam	126.22	131.34	128.78	173.89	163.97	168.93	198.84	194.36	196.60
18 jam	130.70	135.50	133.10	177.09	167.81	172.45	202.68	199.16	200.92
24 jam	134.54	139.02	136.78	180.61	170.05	175.33	209.01	202.04	205.53
30 jam	138.70	142.54	140.62	185.09	176.45	180.77	212.37	209.49	210.93
36 jam	142.22	145.42	143.82	189.88	185.09	187.49	219.09	213.33	216.21
42 jam	146.70	148.30	147.50	194.04	187.97	191.00	222.93	218.61	220.77
48 jam	150.54	152.78	151.66	199.16	190.52	194.84	230.60	222.93	226.76
54 jam	154.06	156.61	155.33	204.92	197.24	201.08	234.92	230.12	232.52
60 jam	159.17	161.41	160.29	208.05	199.80	203.93	231.08	226.76	228.92
66 jam	161.73	163.65	162.69	213.33	204.92	209.12	225.80	221.97	223.88
72 jam	166.53	170.37	168.45	216.21	210.45	213.33	221.49	215.73	218.61
Total	1848.52	1893.63	1871.08	2471.81	2365.90	2418.85	2785.70	2724.67	2755.18
Rata-rata	142.19	145.66	143.93	190.14	181.99	186.07	214.28	209.59	211.94

Lampiran 9b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Konsentrasi Substrat dan Lama Sakarifikasi terhadap Kadar Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Penggunaan Variasi Konsentrasi Substrat			Rata-rata (g/L)
	25%	30%	35%	
0 jam (kontrol)	117.11	155.33	181.57	151.34
6 jam	124.94	165.25	191.96	160.72
12 jam	128.78	168.93	196.60	164.77
18 jam	133.10	172.45	200.92	168.82
24 jam	136.78	175.33	205.53	172.54
30 jam	140.62	180.77	210.93	177.44
36 jam	143.82	187.49	216.21	182.50
42 jam	147.50	191.00	220.77	186.42
48 jam	151.66	194.84	226.76	191.09
54 jam	155.33	201.08	232.52	196.31
60 jam	160.29	203.93	228.92	197.71
66 jam	162.69	209.12	223.88	198.57
72 jam	168.45	213.33	218.61	200.13
Rataan	143.93	186.07	211.94	

Lampiran 9c. Analisa Sidik Ragam Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Konsentrasi Substrat

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80814.491 ^a	38	2126.697	119.219	.000
Intercept	2545315.147	1	2545315.147	142686.500	.000
Kadar_Substrat	61273.399	2	30636.700	1717.447	.000**
Lama_Sakarifikasi	18643.000	12	1553.583	87.092	.000**
Kadar_Substrat * Lama_Sakarifikasi	898.091	24	37.420	2.098	.119 ^{tn}
Error	695.702	39	17.839		
Total	2626825.340	78			
Corrected Total	81510.193	77			

Keterangan : ^{tn}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata

Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata

Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata

Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 9d. Analisa Lanjutan Duncan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Kadar Substrat	N	Subset		
		1	2	3
25%	26	143.9288		
30%	26		186.0658	
35%	26			211.9373
Sig.		1.000	1.000	1.000

Lampiran 9e. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Gula Pereduksi (g/L) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Kontrol	6	151.3383								
6 jam	6		160.7167							
12 jam	6		164.7700	164.7700						
18 jam	6			168.8233	168.8233					
24 jam	6				172.5450	172.5450				
30 jam	6					177.4400				
36 jam	6						182.5050			
42 jam	6						186.4250	186.4250		
48 jam	6							191.0883		
54 jam	6									196.3117
60 jam	6									197.7117
66 jam	6									198.5667
72 jam	6									200.1300
Sig.		1.000	.104	.104	.135	.052	.116	.063		.161

Lampiran 10a. Perolehan Nilai Total Padatan (%) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Konsentrasi Substrat

Lama Reaksi Sakarifikasi	Konsentrasi 25%		Rata-rata	Konsentrasi 30%		Rata-rata	Konsentrasi 35%		Rata-rata
	U1	U2		U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	28.03	28.50	28.27	34.07	33.17	33.62	37.33	36.64	36.98
6 jam	29.49	29.93	29.71	35.19	34.28	34.74	38.13	37.49	37.81
12 jam	29.73	30.32	30.02	35.43	34.67	35.05	38.51	37.86	38.19
18 jam	30.06	30.60	30.33	35.68	34.96	35.32	38.86	38.01	38.43
24 jam	30.38	30.95	30.66	35.87	35.37	35.62	39.13	38.24	38.69
30 jam	30.65	31.26	30.95	36.16	35.65	35.90	39.38	38.36	38.87
36 jam	30.90	31.57	31.23	36.48	35.89	36.19	39.53	38.59	39.06
42 jam	31.22	31.81	31.51	36.77	36.24	36.50	39.90	38.90	39.40
48 jam	31.55	32.16	31.85	37.18	36.43	36.80	40.08	39.22	39.65
54 jam	31.78	32.34	32.06	37.24	36.68	36.96	40.35	39.53	39.94
60 jam	32.00	32.57	32.28	37.62	37.00	37.31	39.95	39.17	39.56
66 jam	32.28	32.72	32.50	37.96	37.44	37.70	39.60	38.89	39.24
72 jam	32.59	32.98	32.78	38.32	37.70	38.01	39.42	38.62	39.02
Total	400.64	407.70	404.17	473.97	465.49	469.73	510.17	499.50	504.84
Rata-rata	30.82	31.36	31.09	36.46	35.81	36.13	39.24	38.42	38.83

Lampiran 10b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Konsentrasi Substrat dan Lama Sakarifikasi terhadap Nilai Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Pergunaan Variasi Konsentrasi Substrat			Rata-rata (%)
	25%	30%	35%	
0 jam (kontrol)	28.27	33.62	36.98	32.96
6 jam	29.71	34.74	37.81	34.09
12 jam	30.02	35.05	38.19	34.42
18 jam	30.33	35.32	38.43	34.69
24 jam	30.66	35.62	38.69	34.99
30 jam	30.95	35.90	38.87	35.24
36 jam	31.23	36.19	39.06	35.49
42 jam	31.51	36.50	39.40	35.80
48 jam	31.85	36.80	39.65	36.10
54 jam	32.06	36.96	39.94	36.32
60 jam	32.28	37.31	39.56	36.39
66 jam	32.50	37.70	39.24	36.48
72 jam	32.78	38.01	39.02	36.61
Rataan	31.09	36.13	38.83	

Lampiran 10c. Analisa Sidik Ragam Total Padatan (%) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Konsentrasi Substrat

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	897.014 ^a	38	23.606	98.968	.000
Intercept	97485.403	1	97485.403	408715.265	.000
Kadar_Substrat	803.146	2	401.573	1683.626	.000**
Lama_Sakarifikasi	86.565	12	7.214	30.244	.000**
Kadar_Substrat * Lama_Sakarifikasi	7.303	24	.304	1.276	.244 ^{ln}
Error	9.302	39	.239		
Total	98391.719	78			
Corrected Total	906.316	77			

Keterangan : ^{ln}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata

Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata

Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata

Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 10d. Analisa Lanjutan Duncan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Kadar Substrat	N	Subset		
		1	2	3
25%	26	31.0912		
30%	26		36.1327	
35%	26			38.8342
Sig.		1.000	1.000	1.000

Lampiran 10e. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Total Padatan (%) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Kontrol	6	32.9567							
6 jam	6		34.0850						
12 jam	6		34.4200	34.4200					
18 jam	6			34.6950	34.6950				
24 jam	6			34.9900	34.9900	34.9900			
30 jam	6				35.2433	35.2433	35.2433		
36 jam	6					35.4933	35.4933		
42 jam	6						35.8067	35.8067	
48 jam	6							36.1033	36.1033
54 jam	6							36.3200	36.3200
60 jam	6							36.3850	36.3850
66 jam	6								36.4817
72 jam	6								36.6050
Sig.		1.000	.242	.062	.073	.099	.065	.067	.120

Lampiran 11a. Perolehan Nilai Dekstrosa Ekuivalen (%) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Konsentrasi Substrat

Lama Reaksi Sakarifikasi	Konsentrasi 25%		Rata- rata	Konsentrasi 30%		Rata- rata	Konsentrasi 35%		Rata- rata
	U1	U2		U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	46.01	47.67	46.84	53.06	50.50	51.78	52.15	51.60	51.88
6 jam	48.95	51.00	49.98	56.79	53.38	55.08	55.53	54.16	54.85
12 jam	50.49	52.54	51.51	57.96	54.66	56.31	56.81	55.53	56.17
18 jam	52.28	54.20	53.24	59.03	55.94	57.48	57.91	56.90	57.41
24 jam	53.82	55.61	54.71	60.20	56.68	58.44	59.72	57.73	58.72
30 jam	55.48	57.02	56.25	61.70	58.82	60.26	60.68	59.85	60.27
36 jam	56.89	58.17	57.53	63.29	61.70	62.50	62.60	60.95	61.77
42 jam	58.68	59.32	59.00	64.68	62.66	63.67	63.69	62.46	63.08
48 jam	60.21	61.11	60.66	66.39	63.51	64.95	65.89	63.69	64.79
54 jam	61.62	62.65	62.13	68.31	65.75	67.03	67.12	65.75	66.43
60 jam	63.67	64.57	64.12	69.35	66.60	67.98	66.02	64.79	65.41
66 jam	64.69	65.46	65.08	71.11	68.31	69.71	64.52	63.42	63.97
72 jam	66.61	68.15	67.38	72.07	70.15	71.11	63.28	61.64	62.46
Total	739.41	757.45	748.43	823.94	788.63	806.28	795.91	778.48	787.19
Rata-rata	56.88	58.27	57.57	63.38	60.66	62.02	61.22	59.88	60.55

Lampiran 11b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Konsentrasi Substrat dan Lama Sakarifikasi terhadap Nilai Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Penggunaan Variasi Konsentrasi Substrat			Rata-rata (%)
	25%	30%	35%	
0 jam (kontrol)	46.84	51.78	51.88	50.17
6 jam	49.98	55.08	54.85	53.30
12 jam	51.51	56.31	56.17	54.67
18 jam	53.24	57.48	57.41	56.04
24 jam	54.71	58.44	58.72	57.29
30 jam	56.25	60.26	60.27	58.92
36 jam	57.53	62.50	61.77	60.60
42 jam	59.00	63.67	63.08	61.91
48 jam	60.66	64.95	64.79	63.47
54 jam	62.13	67.03	66.43	65.20
60 jam	64.12	67.98	65.41	65.83
66 jam	65.08	69.71	63.97	65.25
72 jam	67.38	71.11	62.46	66.98
Rataan	57.57	62.02	60.55	

Lampiran 11c. Analisa Sidik Ragam Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Konsentrasi Substrat

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2550.686 ^a	38	67.123	34.038	.000
Intercept	281263.391	1	281263.391	142626.825	.000
Kadar_Substrat	267.472	2	133.736	67.817	.000**
Lama_Sakarifikasi	2154.751	12	179.563	91.055	.000**
Kadar_Substrat * Lama_Sakarifikasi	128.463	24	5.353	2.714	.113 ^{ln}
Error	76.909	39	1.972		
Total	283890.986	78			
Corrected Total	2627.595	77			

Keterangan : ^{ln}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata
 Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata
 Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata
 Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 11d. Analisa Lanjutan Duncan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Kadar Substrat	N	Subset		
		1	2	3
25%	26	57.5719		
35%	26		60.5535	
30%	26			62.0231
Sig.		1.000	1.000	1.000

Lampiran 11e. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Dekstrosa Ekuivalen (%) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kontrol	6	50.1650								
6 jam	6		53.3017							
12 jam	6		54.6650	54.6650						
18 jam	6			56.0433	56.0433					
24 jam	6				57.2933	57.2933				
30 jam	6					58.9250				
36 jam	6						60.6000			
42 jam	6						61.9150	61.9150		
48 jam	6							63.4667		
54 jam	6								65.2000	
60 jam	6								65.8333	65.8333
66 jam	6								66.2517	66.2517
72 jam	6									66.9833
Sig.		1.000	.101	.097	.131	.051	.113	.063	.229	.189

Lampiran 12a. Perolehan Nilai Tingkat Kemanisan (°brix) terhadap Produktifitas Sirup Glukosa dengan Variasi Konsentrasi Substrat

Lama Reaksi Sakarifikasi	Konsentrasi 25%		Rata-rata	Konsentrasi 30%		Rata-rata	Konsentrasi 35%		Rata-rata
	U1	U2		U1	U2		U1	U2	
0 jam (kontrol)	26.20	26.00	26.10	31.20	32.00	31.60	35.20	34.40	34.80
6 jam	27.80	27.20	27.50	32.00	33.00	32.50	36.00	35.20	35.60
12 jam	28.20	27.40	27.80	32.40	33.20	32.80	36.20	35.60	35.90
18 jam	28.40	28.00	28.20	32.80	33.40	33.10	36.60	36.00	36.30
24 jam	28.80	28.20	28.50	33.20	33.60	33.40	37.00	36.00	36.50
30 jam	29.00	28.40	28.70	33.40	34.00	33.70	37.20	36.20	36.70
36 jam	29.20	28.80	29.00	33.60	34.20	33.90	37.40	36.40	36.90
42 jam	29.60	29.00	29.30	34.00	34.40	34.20	37.80	36.80	37.30
48 jam	30.00	29.20	29.60	34.20	35.00	34.60	38.00	37.00	37.50
54 jam	30.20	29.60	29.90	34.40	35.00	34.70	38.20	37.40	37.80
60 jam	30.20	30.00	30.10	35.00	35.40	35.20	37.80	37.00	37.40
66 jam	30.40	30.00	30.20	35.20	35.80	35.50	37.40	36.60	37.00
72 jam	30.80	30.20	30.50	35.40	36.20	35.80	37.20	36.40	36.80
Total	378.80	372.00	375.40	436.80	445.20	441.00	482.00	471.00	476.50
Rata-rata	29.14	28.62	28.88	33.60	34.25	33.92	37.08	36.23	36.65

Lampiran 12b. Nilai Rataan Hubungan antara Variasi Konsentrasi Substrat dan Lama Sakarifikasi terhadap Nilai Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Lama Reaksi Sakarifikasi	Penggunaan Variasi Konsentrasi Substrat			Rata-rata (°brix)
	25%	30%	35%	
0 jam (kontrol)	26.10	31.60	34.80	30.83
6 jam	27.50	32.50	35.60	31.87
12 jam	27.80	32.80	35.90	32.17
18 jam	28.20	33.10	36.30	32.53
24 jam	28.50	33.40	36.50	32.80
30 jam	28.70	33.70	36.70	33.03
36 jam	29.00	33.90	36.90	33.27
42 jam	29.30	34.20	37.30	33.60
48 jam	29.60	34.60	37.50	33.90
54 jam	29.90	34.70	37.80	34.13
60 jam	30.10	35.20	37.40	34.23
66 jam	30.20	35.50	37.00	34.23
72 jam	30.50	35.80	36.80	34.37
Rataan	28.88	33.92	36.65	

Lampiran 12c. Analisa Sidik Ragam Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa dengan Berbagai Variasi Konsentrasi Substrat

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	901.435 ^a	38	23.722	95.377	.000
Intercept	85722.585	1	85722.585	344657.816	.000
Kadar_Substrat	809.478	2	404.739	1627.301	.000**
Lama_Sakarifikasi	84.422	12	7.035	28.286	.000**
Kadar_Substrat * Lama_Sakarifikasi	7.535	24	.314	1.262	.253 ^{ln}
Error	9.700	39	.249		
Total	86633.720	78			
Corrected Total	911.135	77			

Keterangan : ^{ln}) Tidak Nyata *) Nyata **) Sangat Nyata
 Jika sig < 0.01 = berpengaruh sangat nyata
 Jika 0.01 < sig < 0.05 = berpengaruh nyata
 Jika sig > 0.05 = tidak berpengaruh nyata

Lampiran 12d. Analisa Lanjutan Duncan Variasi Konsentrasi Substrat Terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Kadar Substrat	N	Subset		
		1	2	3
25%	26	28.8769		
30%	26		33.9231	
35%	26			36.6538
Sig.		1.000	1.000	1.000

Lampiran 12e. Analisa Lanjutan Duncan Lama Reaksi Sakarifikasi Terhadap Tingkat Kemanisan (°brix) Sirup Glukosa

Lama Sakarifikasi	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Kontrol	6	30.8333								
6 jam	6		31.8667							
12 jam	6		32.1667	32.1667						
18 jam	6			32.5333	32.5333					
24 jam	6				32.8000	32.8000				
30 jam	6				33.0333	33.0333	33.0333			
36 jam	6					33.2667	33.2667			
42 jam	6						33.6000	33.6000		
48 jam	6							33.9000	33.9000	
54 jam	6							34.1333	34.1333	
60 jam	6							34.2333	34.2333	
66 jam	6							34.2333	34.2333	
72 jam	6								34.3667	
Sig.		1.000	.304	.210	.108	.133	.069	.055		.156

GAMBAR PENELITIAN



Pembuatan reagen DNS



Pembuatan Sirup glukosa



Sirup glukosa dengan suhu gelatinisasi 87°C



Sirup glukosa dengan suhu gelatinisasi 121°C



Sirup glukosa dengan konsentrasi substrat 25%



Sirup glukosa dengan konsentrasi substrat 30%



Sirup glukosa dengan konsentrasi substrat 35%



Analisa gula pereduksi



Analisa kadar air



Sampel dalam desikator setelah pengovenan



Penimbangan sampel setelah dioven



Analisa tingkat kemanisan