



Penerapan Metode Enzimatis pada Pembuatan Gula Cair dengan Lama Sakarifikasi dan Konsentrasi Substrat yang Berbeda

Application of Enzymatic Method on Liquid Sugar Preparation with Different Saccharification Time and Substrate Concentration

Ayu Wiji Lestari dan Iffah Muflihati

Program Studi Teknologi Pangan, Universitas PGRI Semarang, Jl. Sidodadi Timur No.24, Karangtempel, Kec. Semarang, Kota Semarang, 50232, Jawa Tengah

*Email: iffahmuflihati@upgris.ac.id

Article history:

Diterima : 9 September 2024
Direvisi : 19 Juli 2025
Disetujui : 2 Februari 2026
Mulai online : 27 Maret 2026

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Ayu Wiji Lestari dan Iffah Muflihati. (2026). Penerapan Metode Enzimatis pada Pembuatan Gula Cair dengan Lama Sakarifikasi dan Konsentrasi Substrat yang Berbeda. Jurnal Teknik Kimia USU, 15(1), 76-83.

ABSTRAK

Gula cair digunakan dalam industri pangan karena keunggulannya yang tidak mudah mengkristal, mudah larut, serta memperindah tampilan produk. Pisang tanduk mengandung karbohidrat dan pati yang tinggi dan berpotensi untuk dikembangkan menjadi gula cair melalui proses hidrolisis enzimatis menggunakan enzim α -amilase dan glucoamilase. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perlakuan yang menghasilkan gula pereduksi terbanyak dan untuk mengkaji pengaruh lama sakarifikasi dan konsentrasi substrat pati pisang tanduk terhadap karakteristik fisikokimia gula cair. Pisang tanduk digelatinisasi pada suhu 75 °C dengan konsentrasi substrat pati 15%, 20%, dan 25%, likuifikasi selama 6 dan 8 jam, serta evaporasi selama 24 jam pada suhu 60 °C. Hasil menunjukkan bahwa semakin lama waktu sakarifikasi dan semakin tinggi konsentrasi substrat meningkatkan nilai rendemen, jumlah gula pereduksi, dekstrosa ekuivalen, dan nilai °brix. Perlakuan terbaik pada waktu sakarifikasi selama 8 jam dan konsentrasi substrat pati 25% menghasilkan nilai rendemen 59,89%, kadar gula reduksi 25,64%; DE (dekstrosa ekuivalen) 16,77%; dan TPT (°Brix) 29,87%.

Kata kunci: gula cair, pisang tanduk, pati, sakarifikasi, likuifikasi

ABSTRACT

Liquid sugar is utilized in the food and beverage industry due to its advantages of being non-crystallizing, practicable, soluble, and visually improved appearance. The horned banana, in particular, contain high levels of carbohydrates and starch, having the potential development into liquid sugar through enzymatic hydrolysis using α -amylase and glucoamylase enzymes. The aim of this study to determine the treatment resulting in the highest yield of reducing sugars and review the effect of long saccharification and substrate concentration of horned banana starch, on the physicochemical of liquid sugar. The horned bananas was gelatinized a temperature of 75 °C using starch concentrates of 15%, 20%, and 25%, liquefied for 6 and 8 hours, and vaporized for 24 hours at 60 °C. These results prove that the longer the duration of saccharification and the higher the starch substrate concentrate, the high yield, reducing sugar content, dextrose equivalent, and °Brix value. The optimal treatment was 8 hours of saccharification and a 25% starch substrate. This produced a yield of 59.89%, a reducing sugar content of 25.64%, a DE (dextrose equivalent) of 16.77%, and a TPT (°Brix) of 29.87%.

Keyword: liquid sugar, tanduk banana, starch, saccharification, liquefaction



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v15i1.18141>

1. Pendahuluan

Gula merupakan salah satu sumber pemanis dan juga sumber kalori terbesar. Di sektor industri makanan dan minuman, pertumbuhan yang signifikan sedang terjadi. Banyak perusahaan makanan saat ini sedang berinovasi untuk membuat produknya lebih menarik dan menggugah minat konsumen dalam membelinya. Beberapa industri seperti roti, kue, cookies, dan permen memanfaatkan sebagian gula dalam bentuk cair untuk produknya. Pertimbangan pemilihan tersebut karena gula cair memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak mudah mengkristal, lebih mudah larut saat diproses, lebih praktis, dan memiliki penampilan yang lebih menarik dibandingkan dengan gula pasir konvensional [1].

Sumber daya alam nabati Indonesia khususnya tanaman yang mengandung pati menjadi prospek substitusi yang baik dalam pembuatan gula cair untuk menekan pasokan gula impor [2]. Bahan pangan dengan sumber karbohidrat yang potensial untuk pengganti tebu adalah buah pisang dengan produksi di Indonesia yang semakin meningkat setiap dekadanya. Berdasarkan Badan Pusat Statistik, produksi buah pisang pada tahun 2022 mencapai 92.454.270 kuintal yang lebih besar dibandingkan dengan komoditas lainnya. Pisang (*Musaceae*) merupakan sumber energi yang kaya akan karbohidrat, dengan kandungan sebesar 22-32% dari berat daging buah. Selain itu, daging pisang kaya akan vitamin A, B6, dan C serta mineral, terutama kalium, magnesium, fosfor, dan folat [3]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh [4] Uji kadar gula yang dilakukan pada beberapa jenis pisang menyatakan bahwa pisang kapas memiliki persentase karbohidrat tertinggi, yaitu 29,74%. Temuan ini menunjukkan bahwa pisang kapas memiliki rasa yang sangat manis, kemudian urutan jenis pisang lain yang memiliki kadar karbohidrat tertinggi setelah pisang kapas secara berturut-turut ialah pisang raja dengan kadar 28,95%, pisang tanduk dengan kadar 27,94%, pisang lempeneng dengan kadar 25,68%, pisang emas dengan kadar 24,38%, pisang Raja Siem dengan kadar 23,66%, dan pisang ambon lumut dengan kadar 22,05%.

Daging buah pisang yang belum matang memiliki kandungan pati yang tinggi, dengan kadar pati total 73,36% pada pembuatan tepung pisang [5]. Daging buah pisang hijau mengandung hingga 70–80% pati berdasarkan berat keringnya [6]. Hasil uji kadar pati pada tepung pisang tersebut memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi gula cair, salah satunya yaitu pisang tanduk. Pisang tanduk memiliki ukuran yang lebih besar dan panjang dibandingkan dengan jenis pisang lainnya [7]. Berdasarkan penelitian Yuniwati *et al.* (2011), bahwa hidrolisis pati pisang tanduk dengan katalis HCl menghasilkan glukosa dengan konstanta kecepatan reaksi $k = 0.007383$ 1/menit [8]. Menurut Salsabila dan Fahrurroji (2021), proses hidrolisis dengan menggunakan enzim mempunyai keunggulan dibandingkan hidrolisis dengan menggunakan asam [9]. Hal ini dapat disebabkan oleh kemampuan enzim dalam memutuskan ikatan glikosida secara spesifik dan dapat dengan mudah dikendalikan. Selain itu, proses ini juga lebih ekonomis dalam hal biaya pemurnian, mengurangi kerusakan warna, dan tidak meninggalkan residu atau produk samping.

Merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Trisnaputri *et al.* (2018) mengenai pembuatan sirup glukosa dari buah pisang matang dengan menggunakan metode hidrolisis enzimatis yaitu enzim α -amilase, bahwa dalam analisis gula reduksi tidak terdapat perbedaan yang nyata antara penambahan 0,25 mL dan 0,5 mL enzim α -amilase [10]. Menurut Akbar (2022) gula dari pati lebih populer dibandingkan gula sintetis karena memiliki tingkat kemanisan yang setara atau bahkan lebih tinggi dibandingkan sukrosa, serta lebih aman untuk dikonsumsi [11]. Proses hidrolisis pati dapat dilakukan melalui metode hidrolisis enzimatis dengan bantuan enzim α -amilase dan glukamilase. Enzim α -amilase digunakan dalam tahap likuifikasi, sementara glukamilase digunakan dalam tahap sakarifikasi [12].

Berdasarkan penelitian Permanasari *et al.* (2018), dalam pembuatan gula cair dari tepung sorgum menunjukkan bahwa tingkat konsentrasi substrat memiliki dampak pada jumlah gula yang direduksi [13]. Semakin tinggi konsentrasi substrat dan semakin lama waktu sakarifikasi, maka akan menghasilkan jumlah gula reduksi yang lebih tinggi [14]. Begitu pula dengan lama sakarifikasi, menurut Sulastriani *et al.* (2017) durasi proses sakarifikasi memiliki dampak terhadap jumlah gula reduksi yang dihasilkan melalui hidrolisis, oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan penelitian pembuatan gula cair dengan bahan baku pisang tanduk mentah serta penambahan proses sakarifikasi dengan enzim glukamilase untuk mengetahui kadar gula reduksi tertinggi yang dihasilkan dalam variasi perlakuan tersebut [15]. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh kondisi proses konsentrasi substrat dan lama proses sakarifikasi untuk pembuatan gula cair dari pisang tanduk dengan menggunakan metode enzimatis dengan penambahan enzim glukamilase saat proses sakarifikasi.

2. Metode

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu spektrofotometri UV-Vis (Spectroquant Prove 300), *water bath shaker* (Memmert), *hot plate* (IKA C-MAG HS 7), neraca analitik (Shimadzu made in Japan), oven

(Memmert IN 55 cap. 53L), *cabinet dryer*, blender (Miyako), desikator (Ukuran D=30 ceramic plate), ayakan 80 mesh, pompa vakum, timbangan digital, pH meter, thermometer, vortex, kertas saring, alat gelas (IWAKI) seperti labu Erlenmeyer, corong kaca, tabung reaksi, gelas beaker, pengaduk kaca, gelas ukur, dan pipet tetes.

Bahan

Bahan utama yang digunakan yaitu pisang tanduk berwarna hijau tua dengan umur panen 3-4 bulan yang diperoleh dari petani di Kudus, akuades, α -amilase (*Liquozyme Supra* produksi *Novozyme*, konsentrasi unit 330 KNU/g, Density 1,247 g/mL), enzim glukamilase (*Dextrozyme produksi Novozyme*, konsentrasi unit 293 KNU/g, Density 1,155 g/mL), CaCl₂, buffer asetat dan buffer fosfat. Bahan kimia yang digunakan meliputi reagen Nelson A, reagen Nelson B, arsenomolibdat, glukosa anhidrat, Fehling A dan B, dan indikator metil biru.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL) model faktorial dengan 2 faktor. Hasil percobaan akan dianalisis berupa rendemen, kadar gula pereduksi, *dextrose equivalent*, dan total padatan terlarut ($^{\circ}$ Brix). Hasil data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengevaluasi apakah terdapat interaksi dan perbedaan yang signifikan antara setiap perlakuan. Jika terdapat perbedaan yang signifikan, dilakukan uji lanjutan menggunakan metode DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada tingkat signifikansi 5% untuk menentukan perbedaan yang nyata antara perlakuan-perlakuan tersebut. Rancangan percobaan penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Percobaan

Lama Sakarifikasi (jam)	Konsentrasi Substrat (%) (S)		
	15	20	25
6	L6S15	L6S20	L6S25
8	L8S15	L8S20	L8S25

Keterangan :

L : Lama Sakarifikasi (jam)

S : Konsentrasi Substrat (%)

Pembuatan Pati Pisang

Pembuatan pati diawali dengan pencucian dan sortasi pisang tanduk. Pisang tanduk yang sudah dicuci kemudian dipotong, ditimbang, dan dihaluskan dengan perbandingan buah pisang dan air 1:1 (b/v). Penyaringan dilakukan menggunakan kain saring untuk memisahkan pati dari jaringan. Ampas pati hasil penyaringan kemudian ditambahkan dengan akuades perbandingan 1:1 (b/v), selanjutnya diremas dan disaring kembali. Proses penyaringan dilakukan berulang-ulang hingga hasil saringan tampak jernih. Pengendapan pati dilakukan selama 12 jam. Setelah endapan terbentuk, air bening di atasnya dibuang dengan hati-hati untuk mencegah kehilangan pati. Hasil endapan kemudian disaring dan dikeringkan menggunakan *cabinet dryer* dengan suhu 50 °C selama 24 jam. Setelah endapan pati kering kemudian dihaluskan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh [16].

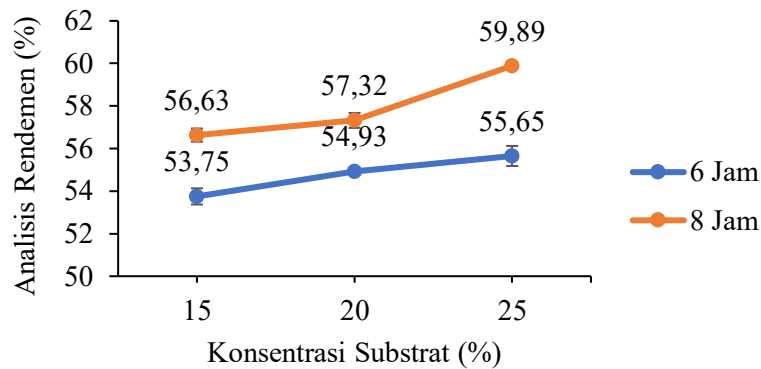
Pembuatan Gula Cair Secara Enzimatis

Pati selanjutnya digelatinisasi menggunakan *hot plate*. Terdapat tiga konsentrasi substrat pati pisang tanduk yang berbeda, yaitu 15%, 20%, dan 25% (sebagai faktor 2), kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker. Selanjutnya pati pisang digelatinisasi pada suhu 75°C selama 20 menit dan dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1200 rpm [11].

Proses selanjutnya adalah likuifikasi, yaitu proses hidrolisis pati tergelatinisasi dengan penambahan α -amilase 0,9% (v/v) dan CaCl₂ 0,1% kemudian diinkubasi dalam *water-bath shaker* pada pH 6,5 (buffer fosfat), suhu 90 °C, dan pengadukan aktif kecepatan 100 rpm selama 90 menit [11]. Selanjutnya, pada tahapan sakarifikasi, pada masing-masing sampel dilakukan pengecekan pH dengan rata-rata pH menjadi asam sekitar pH 4,9–5,0. Buffer asetat kemudian ditambahkan selama sakarifikasi hingga pH menjadi 4,5. Selanjutnya ditambahkan 1,5% (v/v) enzim glukamilase. Kemudian diletakkan kembali di dalam *shaker* penangas air yang diatur pada suhu 60 °C dengan agitasi aktif dengan kecepatan 100 rpm. Sakarifikasi dilakukan selama 6 jam dan 8 jam (sebagai faktor 1). Setelah proses sakarifikasi selesai, filtrat diperoleh dengan penyaringan menggunakan pompa vakum dengan kertas saring. Filtrat kemudian diuapkan dalam penangas air pada suhu 60 °C selama 24 jam untuk mendapatkan gula cair glukosa.

3. Hasil Rendemen

Rendemen adalah persentase produk yang diperoleh dengan membandingkan berat bahan awal dengan hasil akhir. Rendemen dihitung dengan membandingkan berat akhir sampel yaitu gula cair pisang tanduk yang dihasilkan dari proses hidrolisis dengan berat awal bahan, yaitu pati pisang tanduk. Tujuan analisis rendemen pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui persentase berat akhir gula cair pisang tanduk yang dihasilkan. Rendemen gula cair dari pisang tanduk dalam penelitian ini (Gambar 1) berkisar antara 53,75%-59,89%, lebih tinggi dibandingkan dengan hasil Natori *et al.* (2022) pada *High Fructose Syrup* (HFS) dari umbi gembolo yang hanya mencapai 11,01%-18,08% [14]. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh waktu sakarifikasi yang lebih pendek (6 dan 8 jam) dan suhu evaporasi yang lebih rendah (60 °C) dalam penelitian. Pemanasan pada suhu lebih tinggi cenderung menurunkan rendemen karena lebih banyak air yang menguap [17].

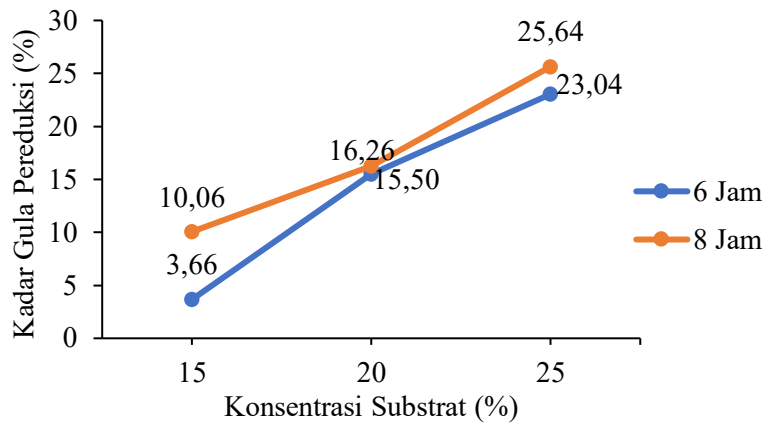


Gambar 1. Rendemen gula cair pisang tanduk

Nilai rendemen terendah diperoleh pada perlakuan lama sakarifikasi 6 jam dan konsentrasi substrat 15% dengan hasil sebesar 53,75%, sedangkan nilai rendemen tertinggi terdapat pada perlakuan lama sakarifikasi 8 jam dan konsentrasi substrat 25% yaitu sebesar 59,89%. Berdasarkan analisis yang ditampilkan pada Gambar 1, terlihat bahwa rendemen gula cair pisang tanduk dengan perlakuan lama sakarifikasi dan konsentrasi substrat memiliki nilai yang berbeda nyata. Semakin lamanya waktu sakarifikasi dan banyaknya konsentrasi substrat yang ditambahkan akan menghasilkan rendemen yang semakin meningkat. Hal ini diduga dengan semakin banyaknya konsentrasi substrat pati yang ditambahkan, akan menghasilkan konsentrasi total padatan terlarut (gula pereduksi, kadar abu, protein serta produk turunan hidrolisis pati) yang semakin tinggi sehingga berakibat pada peningkatan rendemen gula cair. Hal tersebut berkaitan dengan sifat koligatif larutan dimana semakin tinggi konsentrasi larutan akan menyebabkan peningkatan titik didih larutan, sehingga air sukar untuk menguap pada suhu sakarifikasi tersebut. Hasil penelitian Natori *et al.* (2022) menunjukkan bahwa rendemen meningkat dengan bertambahnya konsentrasi substrat dan durasi sakarifikasi karena lebih banyak pati dan inulin yang dihidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa [14]. Menurut Budiyanto *et al.* (2019) jumlah substrat yang lebih banyak memungkinkan lebih banyak interaksi dengan enzim, sehingga lebih banyak kompleks enzim-substrat yang terbentuk, menghasilkan laju reaksi yang lebih tinggi dan lebih banyak produk yang dihasilkan [18]. Selain itu, didukung oleh penelitian Akbar (2022) yang menyatakan bahwa semakin lama sakarifikasi dan semakin tingginya konsentrasi enzim akan menghasilkan nilai rendemen yang semakin meningkat [11]. Hal tersebut terjadi karena semakin lama sakarifikasi akan meningkatkan kesempatan enzim untuk dapat bereaksi lebih lama dengan substrat sehingga meningkatkan rendemen *High Fructose Syrup* (HFS).

Kadar Gula Pereduksi

Gula pereduksi adalah jenis gula yang memiliki kemampuan untuk mereduksi senyawa lain karena memiliki gugus aldehida atau keton bebas. Contoh gula pereduksi yaitu glukosa dan fruktosa [19]. Sebagian besar gula yang dihasilkan dari proses hidrolisis pati adalah gula pereduksi, sehingga pengukuran kadar gula pereduksi dapat digunakan sebagai alat pengendalian kualitas dalam penelitian hidrolisis pati [20]. Kadar gula pereduksi yang terkandung dalam gula cair pisang tanduk pada penelitian ini yaitu berkisar antara 3,66%–25,64%, yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kadar gula pereduksi dalam sirup glukosa yang dihasilkan dari penelitian ini tidak mencapai standar SNI 01-2978-1992, yang menetapkan nilai minimum sebesar 30%. Hal ini disebabkan oleh waktu penguapan yang kurang optimal pada proses pembuatan gula cair, sehingga perlu dilakukan proses penguapan yang lebih lama lagi.

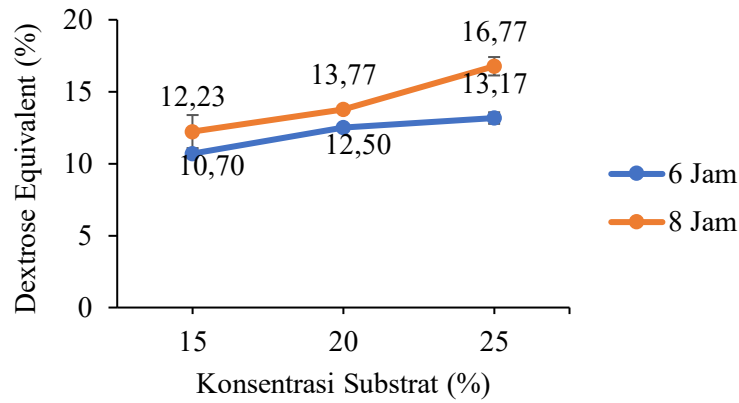


Gambar 2. Kadar gula pereduksi gula cair pisang tanduk

Hasil penelitian ini menunjukkan secara statistik bahwa kadar gula pereduksi gula cair pisang tanduk pada masing-masing perlakuan menghasilkan nilai yang berbeda nyata. Semakin lamanya waktu sakarifikasi dan semakin banyaknya konsentrasi substrat yang ditambahkan akan menghasilkan kadar gula pereduksi yang semakin meningkat. Menurut Soraya *et al.* (2019), semakin lama waktu hidrolisis, semakin tinggi konsentrasi glukosa yang dihasilkan [21]. Peningkatan kandungan glukosa ini disebabkan oleh semakin lamanya waktu pencairan. Menurut Arif *et al.* (2019) waktu hidrolisis yang lebih lama akan menghasilkan pemecahan pati menjadi glukosa yang lebih baik, sehingga kandungan glukosa yang lebih tinggi dapat diperoleh [22]. Menurut Mardawati *et al.* (2019), kadar gula pereduksi dan *yield* hidrolisis menunjukkan tren yang sama, yaitu dengan peningkatan konsentrasi substrat maka kadar gula pereduksi dan *yield* hidrolisis yang dihasilkan mengalami peningkatan [20]. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, dimana semakin meningkatnya kadar gula reduksi, maka nilai rendemen yang dihasilkan juga semakin meningkat. Pada penelitian Suhendrayatna *et al.* (2023), variabel volume enzim yang ditambahkan adalah 0,5; 0,6 dan 0,7 mL, sedangkan konsentrasi substrat divariasikan menjadi 10%, 20% dan 30% [23]. Proses sakarifikasi menunjukkan bahwa kecepatan hidrolisis yang maksimum terdapat pada waktu 600 menit (suspensi pati 30 % dan volume enzim 0,7 mL) yaitu mencapai 43,6%. Kenaikan nilai kadar glukosa terjadi secara bertahap, sehingga proses sakarifikasi berlangsung secara maksimal. Waktu hidrolisis yang semakin lama dapat meningkatkan kadar glukosa yang diperoleh. Hal ini dikarenakan waktu kontak antara enzim dan pati yang semakin lama.

Dextrose Equivalent (DE)

Tingkat konversi pati menjadi komponen-komponen glukosa, maltose, dan dekstrin, dihitung sebagai *Dextrose equivalent* (DE) adalah besaran yang menyatakan nilai total pereduksi pati atau produk modifikasi pati dalam satuan persen [12]. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 01-2978-1992, sirup glukosa dinilai cukup aman dan berkualitas baik apabila memiliki nilai $DE \geq 20$. Berdasarkan hasil analisis, Gambar 3 menunjukkan bahwa rata-rata kandungan nilai DE gula cair dari bahan pisang tanduk dengan variasi lama waktu sakarifikasi dan konsentrasi substrat berkisar 10,7–16,8%, sehingga dapat dinyatakan bahwa gula cair pisang tanduk tidak masuk dalam *range* syarat mutu yang ditetapkan oleh SNI. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai DE yang masih rendah, kurang dari 20%. Hal tersebut diduga karena konsentrasi substrat yang dapat dihidrolisis oleh enzim belum mencapai optimalnya pada lama sakarifikasi tersebut. Berdasarkan penelitian Mariana dan Tjahjani (2014). hasil nilai DE sirup glukosa pada variasi waktu sakarifikasi 2, 4, 6, 8, dan 10 jam dengan perbandingan 1:2 berturut-turut sebesar 27,9240; 34,0931; 36,7107; 41,8360; dan 55,5555 [24]. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sirup glukosa tersebut telah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan oleh SNI.

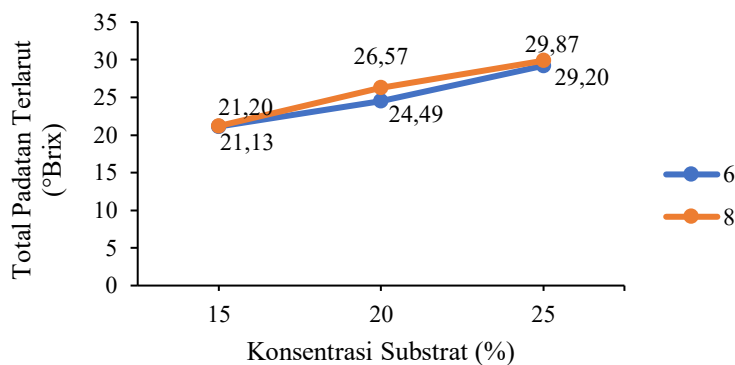


Gambar 3. Dextrose equivalent (DE) gula cair pisang tanduk

Hasil analisis DE pada Gambar 3 menunjukkan peningkatan nilai DE secara signifikan pada lama sakarifikasi dan konsentrasi substrat. Berdasarkan lama sakarifikasi 6 jam pada konsentrasi substrat 25% menunjukkan nilai yang cenderung stagnan. Hal tersebut disebabkan rendahnya waktu sakarifikasi yang menyebabkan tingkat hidrolisis enzim kurang maksimal. Semakin lamanya waktu sakarifikasi memungkinkan banyaknya substrat yang dapat diikat oleh enzim sehingga proses hidrolisisnya cenderung menghasilkan nilai DE yang lebih tinggi. Perlakuan lama sakarifikasi 6 jam dengan konsentrasi substrat 20% dan perlakuan lama sakarifikasi 8 jam dengan konsentrasi substrat 15% tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada konsentrasi substrat yang lebih tinggi (20%), reaksi enzimatik dapat berjalan lebih cepat, sehingga hasil yang diperoleh dalam waktu 6 jam mungkin sudah mendekati maksimal. Di sisi lain, dengan konsentrasi substrat yang lebih rendah (15%), reaksi enzimatik membutuhkan waktu lebih lama (8 jam) untuk mencapai tingkat sakarifikasi yang setara. Hal ini bisa mengakibatkan kedua perlakuan menghasilkan kadar gula pereduksi yang serupa. Kadar sirup glukosa dalam DE meningkat seiring dengan bertambahnya lama sakarifikasi. Kenaikan ini diperkirakan terjadi karena substrat dari hasil likuifikasi yang memerlukan proses hidrolisis lebih lanjut masih cukup banyak [25].

Total padatan terlarut (°brix)

Tingkat kemanisan berkaitan dengan jumlah total padatan yang terkandung dalam sirup glukosa yang dihasilkan. Berat produk akhir akan semakin meningkat apabila total padatan terlarut yang terkandung dalam bahan semakin meningkat [26]. Hasil nilai total padatan terlarut yang didapat pada penelitian ini berkisar antara 21,13–29,87, yang ditunjukkan pada Gambar 4. Rendahnya nilai total padatan terlarut disebabkan oleh kadar air dalam gula cair yang masih sangat tinggi. Selain itu, waktu sakarifikasi yang relatif singkat sekitar 6–8 jam masih kurang optimal untuk mengurangi kadar air dari gula cair. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa antara lama sakarifikasi dan konsentrasi substrat yang ditambahkan cenderung berpengaruh terhadap total padatan terlarut pada gula cair pisang tanduk. Semakin lama waktu sakarifikasi akan menghasilkan nilai total padatan terlarut yang semakin meningkat. Begitu juga dengan penambahan konsentrasi substrat yang semakin banyak pada penelitian ini, masih dapat dihidrolisis oleh enzim α -amilase dan glukoamilase sehingga didapatkan total padatan terlarut yang semakin meningkat nilainya. Hal tersebut didukung oleh penelitian [20] yang menyatakan bahwa kadar padatan terlarut sirup glukosa cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi substrat.



Gambar 4. Total padatan terlarut gula cair pisang tanduk

Menurut Natori *et al.* (2022), total padatan terlarut berkaitan dengan kadar gula reduksi yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar gula reduksi, semakin tinggi pula total padatan terlarut yang didapatkan [14]. Menurut Megavitry *et al.* (2019), tingkat lama waktu sakarifikasi akan berpengaruh pada peningkatan kemanisan gula cair, yang disebabkan karena enzim akan dapat lebih lama bereaksi dengan substrat sehingga hidrolisis pati akan semakin maksimal sehingga akan menghasilkan glukosa yang lebih banyak [27]. Berdasarkan penelitian Hendra (2021), semakin lamanya waktu sakarifikasi, konversi selulosa menjadi glukosa yang dihasilkan juga meningkat [28]. Penelitian yang dilakukan oleh Natori *et al.* (2022) mendukung hal ini, menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi substrat 25% dengan waktu sakarifikasi 48 jam menghasilkan total padatan terlarut tertinggi sebesar 42,0° Brix, sedangkan perlakuan konsentrasi substrat 15% dengan waktu sakarifikasi 24 jam menghasilkan total padatan terlarut terendah sebesar 27, 16° Brix [14]. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi substrat, semakin tinggi pula total padatan terlarut yang dihasilkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penelitian berhasil mengidentifikasi bahwa kombinasi lama sakarifikasi 8 jam dan konsentrasi substrat 25% menghasilkan gula reduksi tertinggi sebesar 25,64%
2. Lama waktu sakarifikasi dan banyaknya konsentrasi substrat berpengaruh secara signifikan terhadap kadar rendemen, gula reduksi, *Dextrose Equivalent*, nilai total padatan terlarut (°Brix), Perlakuan optimum adalah waktu sakarifikasi selama 8 jam dan konsentrasi substrat pati 25% (b/v) yang menghasilkan nilai rendemen 59,89%, gula reduksi 25,64%; DE (*Dextrose Equivalent*) 16,77%; Brix^o 29,87. Rendemen, kadar gula pereduksi, *Dextrose equivalent*, dan total padatan terlarut pada penelitian ini memiliki hubungan yang linier.
3. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan proses evaporasi lebih lama untuk menghasilkan gula reduksi yang lebih tinggi dan nilai viskositas yang lebih baik. Selain itu, perlu dilakukan analisis kadar air serta proses inaktivasi enzim setelah proses sakarifikasi.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] A. P. Ratna and F. Yulastiani, "Pembuatan gula cair dari pati singkong dengan menggunakan hidrolisis enzimatis," *Fluida*, vol. 11, no. 2, pp. 9–14, 2015.
- [2] I. N. Hidayah, M. Mirratunnisya, T. Widiastuti, and M. K. Ferdiansyah, "Karakteristik gula cair dari umbi gembili (*dioscorea esculenta*) terhadap produk roti fungsional," *J. Teknol. Pangan*, vol. 15, no. 1, pp. 37–44, 2021,
- [3] A. Adebayo-Oyetero, O. Ogundipe, and K. Adeeko, "Quality assessment and consumer acceptability of bread from wheat and fermented banana flour," 2015.
- [4] T. K. Putri *et al.*, "Pemanfaatan jenis-jenis pisang (banana dan plantain) lokal jawa barat berbasis produk sale dan tepung," *Kultivasi*, vol. 14, no. 2, pp. 63–70, 2015,
- [5] E. Juarez-Garcia, E. Agama-Acevedo, S. G. Sáyago-Ayerdi, S. L. Rodríguez-Ambriz, and L. A. Bello-Pérez, "Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour e.," *Plant Foods Hum. Nutr.*, vol. 61, no. 3, pp. 131–137, 2006.
- [6] P. Zhang, R. L. Whistler, J. N. Bemiller, and B. R. Hamaker, "Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility - a review," *Carbohydr. Polym.*, vol. 59, no. 4, pp. 443–458, 2005.
- [7] S. Mala *et al.*, "Klasifikasi kematangan buah pisang tanduk berdasarkan warna menggunakan metode hue saturation value (HSV)," *STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 197–207, 2020.
- [8] M. Yuniwati, D. Ismiyati, and R. Kurniasih, "Kinetika reaksi hidrolisis pati pisang tanduk dengan katalisator asam chlorida," *J. Teknol.*, vol. 4, no. 2, pp. 107–112, 2011.
- [9] A. L. Salsabila and I. Fahrurroji, "Hidrolisis pada sintesis gula berbasis pati jagung," *Edufortech*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2021.
- [10] A. C. Trisnaputri, N. R. Usman, and M. Al Mustawa, "Production banana glucose syrup with the α -amylase supplementation," *Int. J. Appl. Biol.*, vol. 2, no. 1, pp. 61–65, 2018.
- [11] R. I. Akbar, "Pengaruh proporsi enzim mix (inulinase:gluko-amilase) dan lama sakarifikasi terhadap karakteristik high fructose syrup dari umbi bengkuang," *J. Teknol. Pangan*, vol. 16, no. 1, pp. 57–71, 2022.

- [12] Adrian, A. Z. Syaiful, Ridwan, and Hermawati, “Sakarifikasi pati ubi jalar putih menjadi gula dekstrosa secara,” *Saintis*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2020.
- [13] A. R. Permanasari, F. Yulistiani, M. A. Tsaqila, D. Alami, and A. Wibowo, “Pengaruh Konsentrasi Substrat dan Enzim Terhadap Produk Gula Reduksi Pada Pembuatan Gula Cair dari Tepung Sorgum Merah Secara Hidrolisis Enzimatis,” 2018, pp. 1–8.
- [14] R. Natori, S. Winarti, and R. A. Anggreini, “Karakteristik HFS (High Fructose Syrup) dari umbi gembolo yang diproduksi secara hidrolisis enzimatis menggunakan amilase dan inulinase,” *J. Teknol. Pangan*, vol. 13, no. 36, pp. 166–174, 2022.
- [15] Sulastriani, A. Laga, and Zainal, “The effect of the use of initial liquification temperature and the sacarification time in producing glucose syrup,” *J. Sains Teknol.*, vol. 17, no. 1, pp. 74–79, 2017.
- [16] N. Musita, “Kajian Kandungan dan Karakteristiknya Pati Resisten dari Berbagai Varietas Pisang,” *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 23, no. 1, pp. 57–65, 2012.
- [17] D. Nursafuan *et al.*, “Development of liquid palm sugar with lime and evaporation temperature settings,” *J. AIP*, vol. 4, no. 2, pp. 79–87, 2016.
- [18] A. Budiyanto, A. B. Arif, and N. Richana, “Optimization of liquid sugar production process from sago (*Metroxylon spp.*),” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 309, no. 1, 2019.
- [19] R. Afriza and I. Nilda, “Analisis perbedaan kadar gula pereduksi dengan metode lane eynon dan luff school pada buah naga merah (*Hylocereus Polyrhizus*),” *J. Temapela*, vol. 2, no. 2, pp. 90–96, 2019.
- [20] E. Mardawati, B. M. Harahap, R. Andoyo, and N. Wulandari, “Karakterisasi produk dan pemodelan kinetika enzimatik α -amilase pada produksi sirup glukosa dari pati,” *J. Ind. Pertan.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–20, 2019.
- [21] S. Soraya, S. Yanti, and M. Mikhratunnisa, “Pengaruh sirup gula cair hasil hidrolisis enzimatis dari sago (*Metroxylon sp.*) sebagai media fermentasi terhadap kadar sefalosporin c,” *Pro Food*, vol. 5, no. 1, pp. 430–439, 2019.
- [22] A. B. Arif, K. S. Sasmitaloka, W. C., and Wahyudiono, “Effect of liquefaction time and enzyme addition on liquid sugar production from sweet sorghum starch by enzymatic hydrolysis,” in *ICSARD*, 2019, pp. 1–7.
- [23] Suhendrayatna, Syaubari, S. Al-Farisi, and S. Muahammad, “Pembuatan gula cair dari pati ubi jalar putih dengan menggunakan hidrolisis enzimatis,” *J. Inov. Ramah Lingkung.*, vol. 4, no. 2, pp. 7–11, 2023.
- [24] A. A. S. Mariana and S. Tjahjani, “Karakterisasi hasil dan penentuan laju reaksi hidrolisis pati bonggol pisang (*Musa paradisiaca linn.*) menjadi sirup glukosa secara enzimatis,” *UNESA J. Chem.*, vol. 3, no. 2, pp. 11–17, 2014.
- [25] Yunianta, T. Sulisty, T. Estiasih, and N. Wulan, “Hidrolisis secara sinergis pati garut (*Marantha arundinaceae L.*) oleh enzim amylase, glukamilase dan pullunase untuk produksi sirup glukosa,” *J. Teknol. Pertan.*, vol. 11, pp. 78–86, 2015.
- [26] M. Munirayati, R. Moulana, and N. El Husna, “Pembuatan serbuk antosianin ubi jalar ungu (*ipomoea batatas l.*) dengan variasi konsentrasi maltodekstrin dan suhu pengeringan,” *J. Ilm. Mhs. Pertan.*, vol. 2, no. 4, pp. 491–497, 2017.
- [27] R. Megavitry, A. Laga, A. Syarifuddin, and S. Widodo, “Pengaruh suhu gelatinisasi dan waktu sakarifikasi terhadap produksi sirup glukosa sago,” in *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SMIPT)*, 26-27, pp. 125–128, 2019.
- [28] A. Hendra, Chairul, Zultiniar, “Pemanfaatan ampas sago untuk produksi bioetanol,” *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Universitas Riau*, vol. 8, no. 2, pp. 1–6, 2021.