

PENGARUH PROPORSI ENZIM *MIX* (INULINASE:GLUKO-AMILASE) DAN LAMA SAKARIFIKASI TERHADAP KARAKTERISTIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP* DARI UMBI BENGMUANG

Effect of Mix Enzyme Proportion (Inulinase:Gluko-Amylase) and Time of Saccharification on Characteristics of High Fructose Syrup from Jicama Tuber

Reza Irsyad Akbar

Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, UPN "Veteran" Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar Surabaya 60294

*e-mail:winarti.sriwing@gmail.com

ABSTRAK

Permintaan terhadap gula tebu terus meningkat sehingga diperlukan alternatif pengembangan produksi gula. Salah satu prospek baik yang dapat mensubstitusi gula pasir adalah gula dari pati, yaitu sirup glukosa dan fruktosa. Sirup fruktosa atau High Fructose Syrup (HFS) merupakan pemanis yang tersusun dari fruktosa, glukosa, dan oligosakarida. HFS diproduksi dari hidrolisis pati, akan tetapi proses tersebut tidak efisien. Akhir-akhir ini peneliti menemukan cara memproduksi HFS dengan cara lain menggunakan inulin yang lebih efisien. Inulin merupakan poli-fruktosa yang larut dalam air. Salah satu bahan baku potensial adalah bengkuang. Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh dan perlakuan terbaik proporsi enzim inulinase:glukoamilase (0,1%:1,5%,0,55%:1,5%,1%:1,5%) dan lama sakarifikasi (24,36,48 jam) terhadap kadar fruktosa dan karakteristik HFS yang dihasilkan. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisa ragam. Hasil analisa menunjukkan bahwa perlakuan terbaik pada konsentrasi enzim mix (1%:1,5%) dan lama sakarifikasi 36 jam dengan hasil rendemen 53,028%, total padatan terlarut 16%, kadar gula reduksi 17,151%, DE 22,012, viskositas 38 mPa.s, kadar fruktosa 3,21% dan glukosa 8,575%.

Kata kunci : Gula, Enzim Mix, Fruktosa, Inulinase, Bengkuang

ABSTRACT

The demand for cane sugar continues to increase, therefore an alternative to the development of sugar is needed. One good prospect that can substitute for granulated cane sugar is sugar from starch, namely glucose and fructose syrup. Fructose syrup or High Fructose Syrup (HFS) is produced from starch hydrolysis, but the process is not efficient. Recently, researchers have found a way to produce HFS in another way using inulin which is more efficient. Inulin is a water-soluble poly-fructose. The limited source of raw materials containing high level of inulin is a challenge for production HFS in Indonesia, requiring raw materials needed to contain inulin and starch. One of the potential raw materials is jicama. The purpose of this study was to determine the effect and the best treatment for proportion of the enzyme inulinase:glukoamilase (0,1%:1,5%, 0,55%:1,5%, 1%:1,5%) and the length of saccharification (24,36,48 hours) on the level of fructose and characteristics of the resulting HFS. The data obtained were analyzed using analysis of variance. The results of the analysis showed that best treatment was mixed enzyme concentration (1%:1,5%) and 36 hours saccharification with 53,028% of the yield, 16 °brix, 17,1505% of reducing sugar content, DE 22,012, viscosity 38 mPa.s, level of fructose 3,21%, dan 8,575% glucose.

Keywords : Sugar, Enzyme mix, Fructose, Inulinase, Jicama

PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan pemanis selalu meningkat setiap tahunnya terutama sukrosa ditambah lagi kondisi produksi gula dalam negeri yang masih belum bisa memenuhi kebutuhan, mengharuskan Indonesia untuk impor gula. Berdasarkan proyeksi data Badan Pusat Statistika dalam Wardianingsih dan Dahiri (2021), tercatat kebutuhan gula nasional tahun 2020 mencapai 5,2 juta ton, sedangkan produksi dalam negeri hanya sebesar 2,98 juta ton. Hal ini menyebabkan neraca gula defisit sebesar 2,22 juta ton. Oleh karena itu diperlukan peningkatan produksi gula dalam negeri, selain itu juga diperlukan pengembangan alternatif gula lainnya. Gula alternatif yang sudah ada adalah gula sintetis dan gula dari pati. Gula dari pati lebih diminati dibandingkan gula sintetis karena sifatnya yang lebih aman dikonsumsi dan memiliki tingkat kemanisan yang sama atau lebih dibandingkan sukrosa. Di antara berbagai macam jenis gula dari pati terdapat dua yang prospeknya baik untuk mensubstitusi kebutuhan gula pasir, yaitu sirup glukosa dan fruktosa.

Sirup fruktosa atau dikenal *High Fructose Syrup* (HFS) merupakan pemanis cair yang tersusun dari fruktosa, glukosa dan beberapa oligosakarida. Menurut Singh *et al.* (2017), HFS memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sukrosa, yaitu kadar kemanisan 1,2 – 1,8 kali, tekanan osmotik yang lebih tinggi, kelarutan tinggi dan viskositas rendah. Produksi HFS melibatkan proses multi-enzimatik, yaitu: *likuifikasi*,

sakarifikasi, *Isomerisasi*, dan *fraksionasi* (Singh, dan Singh, 2017).

Likuifikasi atau pencairan pati merupakan proses awal pembuatan HFS dengan bantuan enzim α -amilase untuk memecah ikatan 1,4-amilase dan amilopektin guna menghasilkan disakarida dengan berat molekul rendah dan sedang. Diawali dengan proses gelatinisasi agar granula pati mengembang dan rusak sehingga mempermudah kerja enzim. Berdasarkan penelitian Lambri *et al.* (2014) proses likuifikasi terbaik pada slurry singkong menggunakan konsentrasi enzim α -amilase 0,013% (v/b), pH 6,5 dan suhu 90°C didapatkan nilai DE sebesar 44,3. Penelitian *Samaranayake et al.* (2017) ,dalam proses pembuatan sirup glukosa dari pati singkong didapatkan perlakuan terbaik dengan penambahan enzim α -amilase sebesar 0,03% (b/b), selama 90 menit didapatkan kadar gula pereduksi sebesar 2,79%.

Pati yang telah terhidrolisis sebagian selanjutnya dilakukan proses sakarifikasi agar terhidrolisis menjadi monomer penyusunnya yaitu glukosa. Penambahan enzim gluko-amilase berfungsi untuk memecah ikatan 1,4-glikosida dan 1,6-glikosida pati. Berdasarkan penelitian Yuniarta dkk. (2010), perlakuan terbaik dalam poses sakrifikasi tepung singkong menggunakan dextrozyme dengan konsentrasi 0,08% (b/b) dan inkubasi 24 jam menghasilkan kadar gula pereduksi 24,88% dan DE sebesar 92,14. Namun menurut penelitian Lambri *et al.* (2014), proses sakarifikasi slurry singkong terbaik pada

konentrasi enzim gluko-amilase 0,019% (v/b) sehingga didapatkan gula reduksi sebesar 50,2%

Komponen fruktosa HFS dihasilkan dari konversi glukosa menjadi fruktosa dengan bantuan enzim isomerase, proses ini dinamakan isomerisasi. Menurut Singh *et al.* (2017), dengan mengkondisikan proses isomerisasi pada pH 8, suhu 60°C dan inkubasi 1 jam diperoleh hasil berupa HFS dengan kadar fruktosa 42%. Untuk meningkatkan kadar fruktosa dalam sirup maka perlu dilakukan proses fraksinasi, dengan melewati sirup pada kolom kromatografi, aliran yang mengandung sakarida non fruktosa dapat dikumpulkan, sedangkan fruktosa akan tertahan dalam kolom kromatografi.

Pembuatan HFS berbahan baku pati dinilai kurang efektif, HFS yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian. Para peneliti mengembangkan HFS dari bahan baku lain, yaitu inulin. Inulin merupakan poli fruktosa yang larut dalam air, sehingga dengan bantuan enzim/asam dapat menghasilkan fruktosa, glukosa atau fruktooligosakarida. Hidrolisis inulin dengan bantuan enzim lebih diminati dibandingkan menggunakan asam karena tidak menghasilkan produk samping. Enzim inulinase merupakan enzim yang mampu menghidrolisis inulin menjadi monomer penyusunnya, yaitu fruktosa. Berdasarkan pola aksinya enzim inulinase dibedakan menjadi ekso-inulinase yang menghidrolisis unit fruktosa dari ujung yang tidak reduktif menghasilkan fruktosa dan endo-inulinase menghidrolisis ikatan molekul inulin dari bagian

dalam untuk menghasilkan frukto-oligosakarida seperti inulotriosa, -tetraosa, -pentaosa (Fachrial, *et al.* 2019). Berdasarkan penelitian Baston, *et al.* (2013) produksi HFS berbahan inulin murni chicory dengan rentang konsentrasi enzim inulinase 0,1%, 0,55%, dan 1% (v/b) dengan pH 5,25, suhu 65°C dan inkubasi 24 – 96 jam didapatkan hasil terbaik pada konsentrasi 0,55% dengan waktu inkubasi 96 jam menghasilkan rendemen fruktosa sebesar 97,9%. Menurut Samaranayake *et al.* (2017) dalam berbagai literatur proses sakarifikasi berlangsung pada pH 4,5, suhu 60°C dan rentang waktu inkubasi dari 24 – 96 jam.

Pengembangan produksi HFS berbahan inulin menjadi tantangan di Indonesia karena sedikitnya ketersediaan bahan baku inulin dalam kadar tinggi. Hal ini dapat diatasi dengan menggabungkan metode produksi HFS berbahan baku inulin dengan pati. Enzim inulinase dan gluko-amilase memiliki spesifikasi kondisi hidrolisis optimal yang sama, yaitu pada pH 4,5 dan suhu 40 – 60°C (Chen, *et al.* 2013; Yuniarta, *et al.* 2010). Keduanya dapat digabungkan pada saat proses sakarifikasi, diharapkan proses sakarifikasi dengan mix enzim inulinase dan gluko-amilase dapat meningkatkan kadar fruktosa sehingga pada tahapan sakarifikasi sudah menghasilkan HFS berkadar fruktosa tinggi. Oleh karena itu diperlukan bahan baku yang mengandung inulin dan pati sebagai substrat pembuatan HFS, salah satu bahan baku yang potensial adalah umbi bengkuang.

Bengkuang merupakan jenis umbi-umbi yang mengandung inulin dan pati dalam kadar cukup tinggi. Menurut Wimala dkk. (2015) kadar inulin dalam bengkuang sebesar 12,322% dari berat keringnya. Dalam berat kering umbing bengkuang mengandung pati sebesar 63,62% (Suhartati, dan Akmal, 2016). Selain itu produktifitas bengkuang cukup tinggi, menurut Sembiring (2019) Kelurahan Bhakti Karya Kota Binjai mampu memproduksi bengkuang sebesar 23,29 ton/Harga jual bengkuang juga terbilang rendah, menurut Usman (2013) di Kota Padang harga bengkuang berkisar Rp. 750,00/kg dari petani ke pengecer, sedangkan pengecer ke konsumen hanya dihargai Rp. 1500/kg. Oleh karena itu bengkuang sangat berpotensi sebagai bahan baku pembuatan HFS.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah umbi bengkuang dari (Gresik dan Jombang), aquadest, enzim inulinase (ekso-inulinase produksi Megazyme), α -amilase (Liquoozyme Supra produksi Novozyme), enzim glukamilase (Dextrozyme produksi Novozyme), glukosa standar, fruktosa standar, H_2SO_4 , Carbazole, Sistein, NaOH, HCl, dan Buffer asetat pH 6,5 dan 4,5.

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah timbangan digital, neraca analitik, pisau, labu Erlenmeyer, corong, kertas saring, pengaduk, gelas ukur, pipet, pH meter, blender, gelas beaker, thermometer, waterbath shaker, cabinet dryer,

desikator, hot plate, cawan porselen, tabung reaksi, refractometer, dan spektrofotometri UV-Vis D21.

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial dua faktor. Faktor pertama terdiri dari 3 level yaitu proporsi konsentrasi enzim inulinase dan glukamilase (0,1%:1,5%), (0,55%:1,5%), dan (1%:1,5%) dan faktor kedua terdiri dari 3 level yaitu lama proses sakarifikasi 24, 36, dan 48 jam, serta dilakukan ulangan analisa sebanyak dua kali. Data dianalisis menggunakan uji beda nyata (ANOVA). Jika terdapat perbedaan perlakuan beda nyata yang signifikan, hasil akan dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) dengan selang kepercayaan 5%.

Tahap Penelitian

Pembuatan HFS Bengkuang

Umbi bengkuang yang telah dicuci bersih dengan air mengalir kemudian dilakukan pengecilan ukuran selanjutnya dilakukan pembelenderan dengan penambahan air (1:1,3) (v/b). Slurry yang dihasilkan dijadikan substrat HFS. Slurry dilakukan proses gelatinisasi pada suhu 90°C selama 20 menit, kemudian dilanjutkan proses likuifikasi dengan menambahkan enzim α -amilase 0,75% (v/b) pada pH 6,5 dan suhu 90°C diikubasi dalam waterbath shaker selama 90 menit. Kemudian dilanjutkan proses sakarifikasi dengan penambahan buffer asetat hingga pH menjadi 4,5, selanjutnya dilakukan penambahan enzim inulinase:glukamilase dengan proporsi (0,1%:1,5%, 0,55%:1,5%, dan 1%:1,5%) dengan

lama sakarifikasi 24, 36, dan 48 jam dalam waterbath shaker dengan suhu 60°C. Setelah proses sakarifikasi berlangsung dilakukan proses inaktivasi enzim dengan memanaskan hingga suhu 80°C selama 20 menit. Slurry dilakukan penyaringan guna memisahkan dengan residu dari proses gelatinisasi. Sirup yang dihasilkan kemudian dilakukan proses evaporisasi pada suhu 70°C selama 24 jam.

Metode Analisis

Analisa yang dilakukan pada umbi bengkuang meliputi kadar air (AOAC, 2012), abu (AOAC, 2012), pati (AOAC, 2005), inulin (AOAC, 2005), dan gula reduksi metode Nelson Smogyi (AOAC, 1970). Analisis yang dilakukan pada HFS adalah kadar gula reduksi metode Nelson Smogyi (AOAC, 1970), Rendemen (AOAC, 2005), Total padatan (Brix°) menggunakan refractometer, Nilai DE (*Dextrose Equivalent*) metode Lane-Eynon, Uji kekentalan menggunakan viskometer, dan uji fruktosa menggunakan HPLC untuk perlakuan terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Bahan Baku

Umbi bengkuang terdiri dari air sebesar 83,971% wb, kadar abu 0,504% wb, pati 10,64% wb, gula pereduksi 1,575% wb dan inulin 2,34% wb. Hasil tersebut sedikit berbeda dengan penelitian Ayeh (2013), bahwa umbi bengkuang mengandung kadar abu 0,53% wb, kadar air 83,71% wb, kadar pati 5,18% wb, dan gula pereduksi 2% wb. Menurut Anggriawan, dkk (2016), kadar inulin pada umbi

bengkuang sebesar 1,9% wb. Perbedaan ini diduga karena letak geografis umbi bengkuang tumbuh, umur bengkuang, dan jenis bengkuang. Hal ini didukung oleh Vazques, *et al.* (2022), bahwa perbedaan karakteristik fisikokimia bengkuang dapat disebabkan oleh jenis varietas umbi, sumplai air, iklim, cuaca dan umur umbi. Menurut Nursandi dkk. (2017), bahwa lama waktu penanaman umbi bengkuang berpengaruh signifikan pada kadar karbohidrat, kadar abu, dan serat, besar rendemen yang didapatkan dari umbi bengkuang juga dapat dipengaruhi oleh struktur umbi.

Hasil Analisa Produk Sirup Fruktosa Rendemen

Rendemen merupakan suatu nilai penting dalam pembuatan produk, merupakan perbandingan berat produk yang dihasilkan dengan berat bahan baku. Berdasarkan hasil analisa didapatkan rendemen HFS umbi bengkuang berkisar 49,137 – 53,028%. Hasil penelitian ini lebih kecil dari penelitian Johnson and Padmaja (2013), yaitu dalam pembuatan gula cair dari berbagai sumber pati menggunakan pati singkong, *Dioscoreas sp.*, dan ubi jalar didapatkan rendemen sebesar 95,95%, 95,93%, dan 95,70%. Perbedaan ini dapat terjadi diduga karena pada literatur menggunakan bahan baku pati yang sudah dimurnikan tanpa adanya zat pengotor, sedangkan pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa umbi segar sehingga masih terdapat zat-zat lain yang dapat menghambat kinerja enzim. Hal ini didukung oleh Tomasik dan Derek (2012), bahwa

dalam proses pembuatan gula cair dari bahan baku pati terdapat beberapa faktor yang menghambat proses hidrolisis pati, seperti kadar konsentrasi substrat, kandungan logam mineral dan zat aditif organik. Hubungan antara perlakuan konsentrasi enzim *mix* (inulinase:glukoamilase) dan lama sakarifikasi terhadap rendemen HFS dapat dilihat pada Gambar 1.

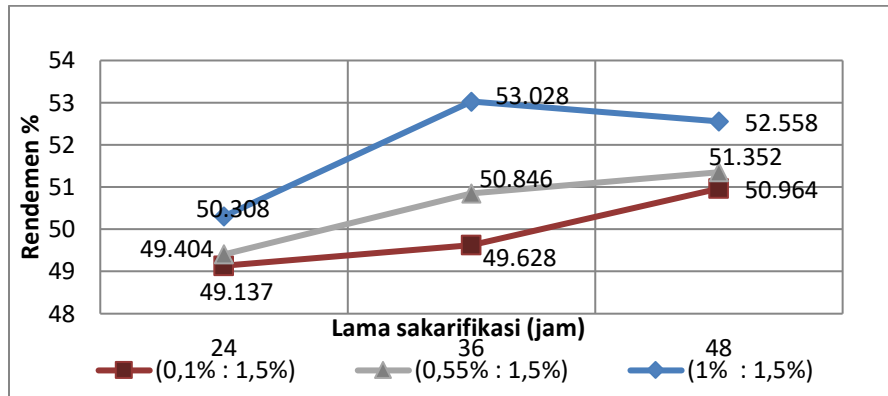
Gambar 1 menunjukkan bahwa konsentrasi enzim *mix* (inulinase:glukoamilase) dan lama sakarifikasi dapat meningkatkan rendemen HFS yang dihasilkan. Peningkatan konsentrasi enzim *mix* dapat meningkatkan rendemen HFS yang dihasilkan karena semakin tinggi konsentrasi enzim inulinase yang dapat memecah inulin semakin tinggi fruktosa yang dihasilkan dan glukoamilase dapat memecah pati menghasilkan glukosa sehingga rendemen yang dihasilkan semakin meningkat. Demikian juga semakin lama sakarifikasi meningkatkan kesempatan enzim bereaksi dengan lebih banyak substrat sehingga meningkatkan rendemen HFS. Hal ini didukung Wahyuningsih (2019), yang menyatakan bahwa konsentrasi enzim yang terlalu rendah maka reaksi akan berlangsung lambat dan menghasilkan produk dalam jumlah yang rendah, akan tetapi jika konsentrasi enzim ditingkatkan maka jumlah produk yang dihasilkan akan semakin meningkat pula.

Penambahan konsentrasi enzim (1%:1,5%) dengan lama sakarifikasi 36 didapatkan nilai

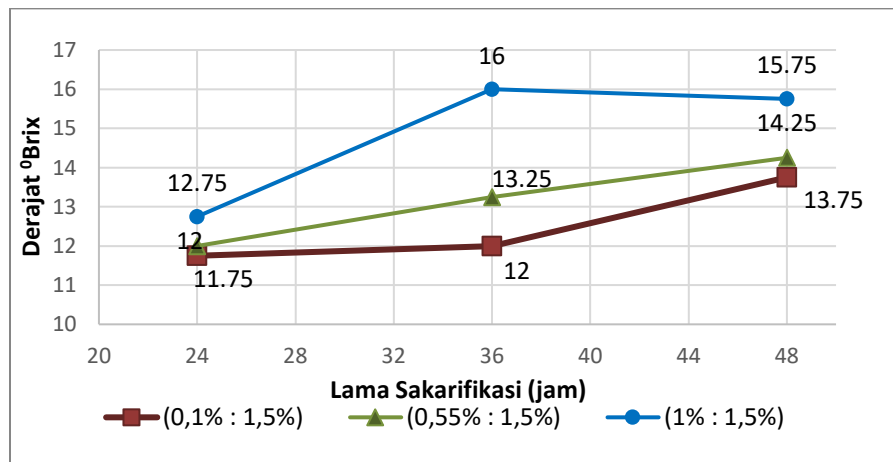
rendemen tertinggi yaitu sebesar 53,028%. Namun dengan konsentrasi enzim yang sama dengan lama sakarifikasi 48 jam didapatkan hasil yang lebih rendah. Hal ini diduga dapat terjadi karena pada konsentrasi substrat dan konsentrasi enzim yang sama jika lama sakarifikasi ditingkatkan maka gula reduksi yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan karena sisi aktif enzim telah penuh oleh substrat dalam keadaan jenuh. Hal ini didukung oleh Yuniarta dkk. (2010), bahwa peningkatan gula pereduksi akan mencapai batas setelah titik kecepatan maksimum telampau maka tidak akan terjadi perubahan nilai gula reduksi yang lebih tinggi lagi meskipun konsentrasi enzim ditambahkan dan waktu sakarifikasi diperpanjang. Selain itu sakarifikasi yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan rendemen yang didapatkan, hal ini dipengaruhi oleh reaksi kebalikan glukosa menjadi maltosa dan isomaltose yang dikatalis oleh enzim glukoamilase. Hal ini didukung oleh Kato, and Takahashi (2001), bahwa reaksi kebalikan glukosa menjadi maltosa dan isomaltosa dipengaruhi oleh kadar glukosa yang tinggi dalam larutan ($2M >$), suhu tinggi ($50^{\circ}C >$), dan konsentrasi enzim glukoamilase yang tinggi.

Total Padatan Terlarut

Total padatan terlarut merupakan jumlah padatan yang terlarut didalam air. Komponen yang terukur sebagai total padatan terlarut dapat berupa



Gambar 1. Grafik rerata rendemen HFS dengan perlakuan konsentrasi enzim *mix* (inulinase:glukoamilase) dan lama sakarifikasi



Gambar 2. Grafik rerata total padatan terlarut HFS dengan perlakuan konsentrasi enzim *mix* (inulinase:glukoamilase) dan lama sakarifikasi

asam organik, sukrosa, gula reduksi, garam dan protein yang sangat berpengaruh terhadap nilai derajat brix. Berdasarkan analisis ragam terdapat interaksi nyata ($p \leq 0,05$) antara konsentrasi enzim *mix* dan lama sakarifikasi, serta masing-masing perlakuan berpengaruh nyata terhadap total padatan terlarut HFS yang dihasilkan. Nilai rata-rata total padatan HFS dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat bahwa peningkatan konsentrasi enzim *mix* dapat meningkatkan total

padatan terlarut karena semakin tinggi konsentrasi enzim inulinase yang dapat memecah inulin maka semakin tinggi fruktosa yang dihasilkan dan glukoamilase membantu memecah pati menghasilkan glukosa sehingga meningkatkan kadar gula reduksi pada larutan. Demikian juga lama sakarifikasi semakin lama sakarifikasi meningkatkan kesempatan enzim untuk bereaksi dengan lebih banyak substrat sehingga meningkatkan kadar gula reduksi. Peningkatan

kadar gula reduksi akan meningkatkan padatan terlarut pada HFS. Hal ini didukung oleh Wee, *et al.* (2011), bahwa semakin tinggi kadar gula reduksi maka total padatan terlarut pada produk akan semakin besar.

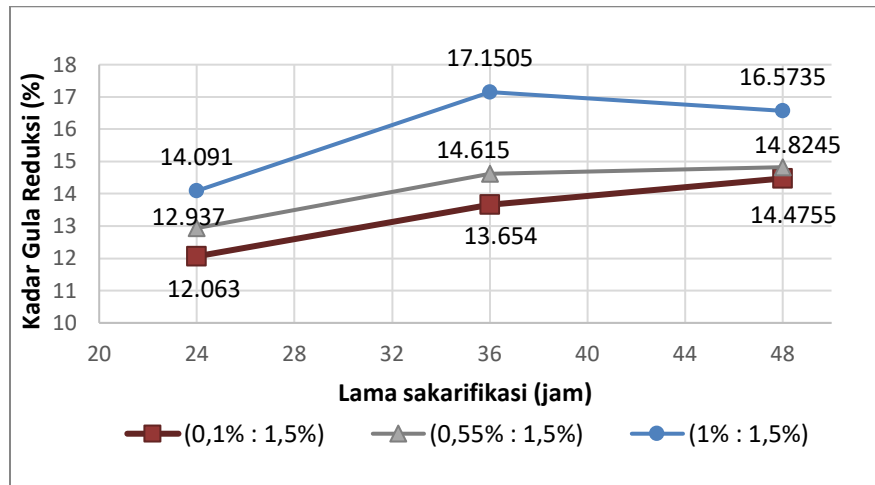
Penambahan konsentrasi enzim *mix* (1%:1,5%) dengan lama sakarifikasi 36 jam didapatkan padatan terlarut yang lebih tinggi dibandingkan dengan lama sakarifikasi 48 jam. Hal ini dapat terjadi diduga karena pada konsentrasi substrat dan enzim yang sama jika lama sakarifikasi ditingkatkan maka gula reduksi yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan karena sisi aktif enzim telah penuh oleh substrat. Hal ini didukung Yuniarta *et al.* (2010), menyatakan bahwa penambahan konsentrasi enzim akan meningkatkan kecepatan reaksi, akan tetapi peningkatan kecepatan reaksi akan semakin menurun untuk setiap penambahan konsentrasi enzim dan lama sakarifikasi bila jumlah substrat tetap. Selain itu sakarifikasi yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan kadar gula reduksi dikarenakan reaksi kebalikan glukosa menjadi maltosa dan isomaltosa yang dikatalis oleh enzim glukamilase. Hal ini didukung oleh Kato *et al.* (2001), bahwa reaksi kebalikan glukosa menjadi maltosa dan isomaltosa dipengaruhi oleh kadar glukosa yang tinggi dalam larutan ($2M >$), suhu tinggi ($50^{\circ}C >$), dan konsentrasi enzim glukamilase yang tinggi.

Kadar Gula Reduksi

Hasil analisis ragam menunjukkan terdapat interaksi nyata ($p \leq 0,05$) antara konsentrasi enzim *mix* (inulinase:glukoamilase) dan lama sakarifikasi, serta masing-masing perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar gula reduksi yang dihasilkan. Nilai rata-rata tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Nilai rata-rata kadar gula reduksi HFS berkisar 12,063 – 17,1505%. Hasil tersebut lebih rendah dari penelitian Johnson dan Padmaja (2013), dalam penelitiannya hasil proses sakarifikasi pembuatan gula cair dengan waktu 48 jam dan suhu $60^{\circ}C$ dari pati singkong, *Dioscorea* sp., dan ubi jalar didapatkan hasil gula reduksi sebesar 18,24; 17,81, dan 18,14%. Perbedaan ini diduga karena perbedaan sumber pati yang digunakan, pada penelitian ini digunakan bahan baku berupa umbi bengkuang segar sedangkan pada literatur menggunakan pati yang telah dimurnikan sehingga tidak terdapat zat pengotor yang dapat menghambat kinerja enzim. Hal ini dapat didukung oleh Tomasik dan Derek (2012), bahwa terdapat faktor yang dapat menghambat proses hidrolisis pati dalam pembuatan gula cair, yaitu seperti kadar konsentrasi substrat, kandungan logam mineral dan zat aditif organik.

Demikian juga lama sakarifikasi, semakin lama sakarifikasi meningkatkan kesempatan enzim bereaksi dengan lebih banyak substrat sehingga meningkatkan kadar gula reduksi HFS. Hal ini didukung oleh Wahyuningsih (2019), yang menyatakan bahwa konsentrasi enzim yang terlalu rendah



Gambar 3. Grafik rerata kadar gula reduksi HFS umbi bengkuang

maka reaksi akan berlangsung lambat dan menghasilkan produk dalam jumlah rendah, akan tetapi jika konsentrasi enzim ditingkatkan maka jumlah produk yang dihasilkan akan semakin meningkat pula.

Penambahan konsentrasi enzim *mix* (1%:1,5%) dengan lama sakarifikasi 36 jam didapatkan hasil tertinggi sebesar 17,1505%. Namun pada penambahan enzim yang sama dengan lama sakarifikasi 48 jam didapatkan hasil gula reduksi yang lebih rendah sebesar 16,574%. Hal ini diduga dapat terjadi karena pada konsentrasi substrat dan konsentrasi enzim yang sama jika lama sakarifikasi ditingkatkan maka gula reduksi yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan karena sisi aktif enzim telah penuh oleh substrat atau sudah dalam keadaan jenuh. Hal ini didukung oleh Yuniarta dkk. (2010), bahwa penambahan konsentrasi enzim akan meningkatkan kecepatan reaksi yang ditandai

meningkatnya nilai gula reduksi hingga mencapai titik batas, setelah titik itu terlampaui maka tidak akan terjadi perubahan nilai gula reduksi yang lebih tinggi. Menurut Sulastriani, Laga, dan Zainal (2017), sisi aktif enzim yang telah jenuh dengan substrat maka tidak ada lagi substrat yang dapat melekat pada sisi aktif enzim. Selain itu sakarifikasi yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan kadar gula reduksi yang didapatkan, hal ini dipengaruhi oleh reaksi kebalikan glukosa menjadi maltose dan isomaltose yang dikatalis oleh enzim glukoamilase. Hal ini didukung oleh Kato *et al.* (2001), bahwa reaksi kebalikan glukosa menjadi maltose dan isomaltose dipengaruhi oleh kadar glukosa yang tinggi dalam larutan (>2M), suhu tinggi (>50°C), dan konsentrasi enzim glukoamilase yang tinggi.

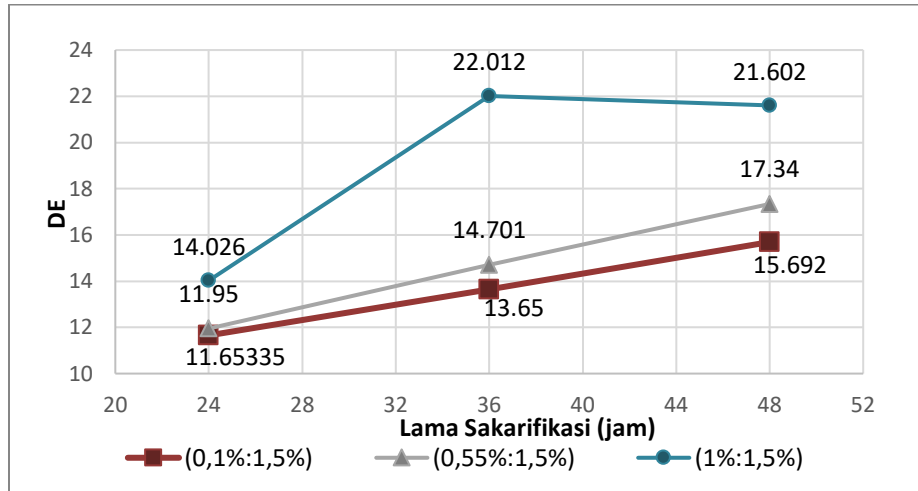
Dekstrosa Ekuivalen (DE)

Dekstrosa ekuivalen (DE) menyatakan kadar gula pereduksi yang dihitung sebagai dekstrosa (glukosa) berdasarkan basis bahan kering. Berdasarkan analisis ragam terdapat interaksi nyata ($p \leq 0,05$) antara konsentrasi enzim *mix* dan lama sakarifikasi, serta masing-masing perlakuan berpengaruh nyata terhadap nilai DE HFS yang dihasilkan. Nilai rata-rata DE HFS tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi enzim *mix* serta semakin lama sakarifikasi maka nilai DE pada HFS yang dihasilkan semakin meningkat. Peningkatan konsentrasi enzim *mix* dapat meningkatkan nilai DE HFS yang dihasilkan karena semakin tinggi konsentrasi enzim inulinase yang dapat memecah inulin maka semakin tinggi fruktosa yang dihasilkan dan glukoamilase membantu memecah pati menghasilkan glukosa sehingga nilai DE HFS meningkat. Demikian juga lama sakarifikasi semakin lama sakarifikasi meningkatkan kesempatan enzim bereaksi dengan lebih banyak substrat sehingga meningkatkan nilai DE HFS. Hal ini didukung oleh Sulastriani *et al.* (2017), yang menyatakan bahwa DE adalah total gula reduksi yang dinyatakan sebagai dekstrosa dan dihitung sebagai presentase bahan kering secara keseluruhan, semakin besar presentase dekstrin

yang berubah menjadi gula reduksi maka semakin besar nilai DE.

Penambahan konsentrasi enzim *mix* (1%:1,5%) dengan lama sakarifikasi 36 jam didapatkan hasil tertinggi sebesar 22,012%. Namun dengan konsentrasi enzim yang sama dan lama sakarifikasi 48 jam didapatkan nilai DE yang lebih rendah. Hal ini diduga dapat terjadi karena pada konsentrasi substrat dan konsentrasi enzim yang jika lama sakarifikasi ditingkatkan maka gula reduksi yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan karena sisi aktif enzim telah jenuh oleh substrat. Hal ini didukung Yunianta *et al.* (2010), bahwa penambahan konsentrasi enzim akan meningkatkan kecepatan reaksi, akan tetapi peningkatan kecepatan reaksi akan semakin menurun untuk setiap penambahan konsentrasi enzim dan lama sakarifikasi bila jumlah substrat tetap. Selain itu sakarifikasi yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan nilai DE yang didapatkan, hal ini dipengaruhi oleh reaksi kebalikan glukosa menjadi maltose dan isomaltose yang dikatalis oleh enzim glukoamilase. Hal ini didukung oleh Kato *et al.* (2001), bahwa reaksi kebalikan glukosa menjadi maltose dan isomaltose dipengaruhi oleh kadar glukosa yang tinggi dalam larutan ($2M >$), suhu tinggi ($50^{\circ}C >$), dan konsentrasi glukoamilase yang tinggi.



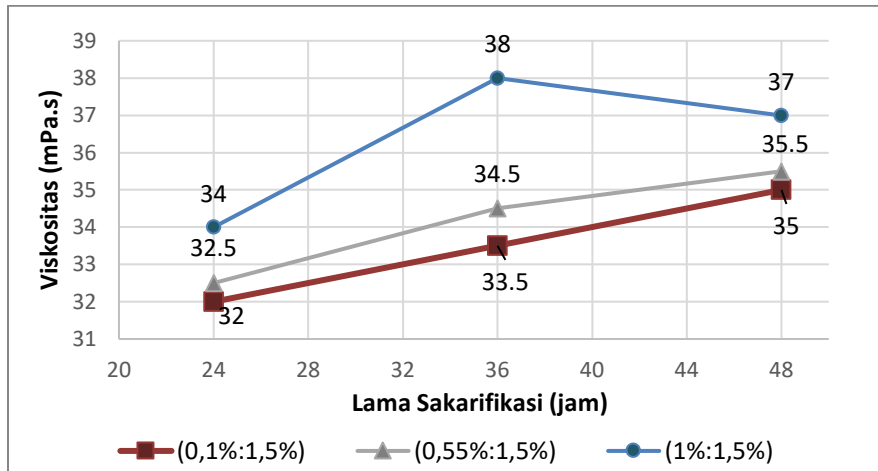
Gambar 4. Grafik rerata DE HFS umbi bengkuang

Viskositas

Berdasarkan analisis ragam, terdapat interaksi nyata ($p \leq 0,05$) antara konsentrasi enzim *mix* dan lama sakarifikasi serta masing-masing perlakuan berpengaruh nyata terhadap viskositas HFS yang dihasilkan. Nilai rata-rata viskositas HFS tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan nilai viskositas meningkat seiring peningkatan konsentrasi enzim *mix* dan lama sakarifikasi, hal ini diduga karena peningkatan kadar gula reduksi yang dihasilkan oleh enzim inulinase yang berperan memecah inulin dari ujung pangkal non reduksi menghasilkan fruktosa dan enzim gluko-amilase menghasilkan glukosa, sehingga menyebabkan meningkatnya nilai viskositas HFS. Demikian juga semakin lama sakarifikasi meningkatkan kesempatan enzim

bereaksi dengan lebih banyak substrat menghasilkan kadar gula reduksi yang lebih tinggi sehingga meningkatkan nilai viskositas HFS. Hal ini sesuai Wee *et al.* (2011), yang menyatakan bahwa semakin tinggi kadar gula reduksi maka total padatan terlarut dan viskositas pada sirup akan meningkat. Penambahan konsentrasi enzim *mix* (1%:1,5%) dengan lama sakarifikasi 36 jam didapatkan hasil yang lebih tinggi sebesar 38 mPa.s dibandingkan dengan lama sakarifikasi 48 jam dengan konsentrasi enzim *mix* yang sama. Hal ini diduga dapat terjadi karena pada konsentrasi substrat dan konsentrasi enzim yang sama jika lama sakarifikasi ditingkatkan maka gula reduksi yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan karena sisi aktif enzim telah jenuh oleh substrat.



Gambar 5. Grafik rerata viskositas HFS umbi bengkuang

Hal ini didukung oleh (Yunianta *et al.*, 2010), bahwa penambahan konsentrasi enzim akan meningkatkan kecepatan reaksi, akan tetapi peningkatan kecepatan reaksi akan semakin menurun untuk setiap penambahan konsentrasi enzim dan lama sakarifikasi bila jumlah substrat tetap. Selain itu sakarifikasi yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan nilai viskositas HFS, hal ini dipengaruhi oleh reaksi kebalikan glukosa menjadi maltose dan isomaltose yang dikatalis oleh enzim glukoamilase sehingga membebaskan H₂O yang menyebabkan menurunnya nilai viskositas HFS. Hal ini didukung oleh Kato *et al.* (2001), bahwa reaksi kebalikan glukosa melalui reaksi kondensasi menghasilkan maltose, isomaltose dan pembebasan H₂O yang dipengaruhi oleh kadar glukosa yang tinggi dalam larutan (2M>), suhu tinggi (50°C>), dan konsentrasi glukoamilase yang tinggi.

Hasil Pengujian Kadar Fruktosa dan Glukosa Menggunakan HPLC

Berdasarkan beberapa Analisa diatas didapatkan perlakuan terbaik pembuatan HFS umbi bengkuang yaitu pada konsentrasi enzim *mix* (1%:1,5%) dan lama sakarifikasi 36 jam. Analisa fruktosa menggunakan alat HPLC *dectector* refractive index. Didapatkan kurva persamaan regresi $y = 57458292,8230x - 514521,6285$. Hasil persamaan regresi dari kurva standar tersebut dijadikan dasar penentuan kadar fruktosa HFS umbi bengkuang. Pengujian sampel HFS didapatkan kadar fruktosa sebesar 3,21 g/100 ml atau 3,21%. Sehingga kadar fruktosa dalam 200 ml HFS bengkuang sebesar 6,42 g, maka rendemen fruktosa yang didapatkan sebesar 91,45% dari 2,34% inulin yang terkandung dalam 300 gr slurry umbi bengkuang. Hasil tersebut lebih rendah dari penelitian Baston *et al.* (2013), bahwa rendemen fruktosa hasil hdirolisis inulin menggunakan enzim inulinase dengan konsentrasi 0,55% dan lama inkubasi 96 jam didapatkan rendemen fruktosa

sebesar 97,90%. Hal tersebut dapat terjadi diduga karena jenis bahan baku berupa umbi segar, sedangkan pada literatur menggunakan inulin chicory murni.

Pada Analisa glukosa didapatkan kurva persamaan regresi $y = 59105434,4559x - 1003854,6233$. Hasil persamaan regresi tersebut dijadikan dasar penentuan kadar glukosa HFS bengkung. Pengujian sampel HFS didapatkan kadar glukosa sebesar 8,575 g/100 ml atau 8,575%.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan perlakuan terbaik adalah konsentrasi enzim *mix* inulinase:gluko-amilase (1%:1,5%) dan lama sakarifikasi 36 jam yang menghasilkan gula HFS dengan karakteristik rendemen 53,028%, total padatan terlarut 16 °brix, kadar gula reduksi 17,1505%, nilai DE 22,012, viskositas 38 mPa.s, kadar fruktosa 3,21%, dan glukosa 8,575%. Kadar fruktosa HFS umbi bengkung masih jauh dari standar SNI oleh karena itu perlu dilakukan proses isomerisasi guna meningkatkan kadar fruktosa pada sirup. Selain itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai lama waktu dan suhu evaporasi yang tepat guna menghindari pembentukan warna coklat dan meningkatkan kadar fruktosa dan glukosa pada HFS umbi bengkung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggriawan, A., Shodiq, F., Ramatika, P., and Heidir, H. (2016). *UJI KADAR INULIN DALAM BENGKOANG (Pachyrhizus erosus L.) DARI BEBERAPA SENTRA PRODUKSI MENGGUNAKAN PENGEKSTRAKSI ETANOL*. Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- Ayeh, E. S. (2013). *DEVELOPMENT AND QUALITY CHARACTERISTICS OF YAM BEAN (PACHYRHIZUS EROSUS) FLOUR AND ITS PERFORMANCE IN BREAD*. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi.
- Baston, O., Camelia, N., and Gabriela, B. (2013). Establishing the Optimum Conditions for Inulin Hydrolysis by Using Commercial Inulinase. *Revista de Chimie*, 64(6), 649–653.
- Chen, X. M., Xu, X. M., Jin, Z. Y., and Chen, H. Q. (2013). Expression of an exoinulinase gene from *Aspergillus ficuum* in *Escherichia coli* and its characterization. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1984–1990.
- Fachrial, E., Anggraini, S., Harmileni, Nugroho, T. T., and Saryono. (2019). Isolation and molecular identification of carbohydrase and protease producing *Bacillus subtilis* JCM 1465 isolated from Penen Hot Springs in North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(12), 3493–3498.
- Johnson, R., and Padmaja, G. (2013). Comparative Studies on the Production of Glucose and High Fructose Syrup from Tuber Starches. *International Research Journal of Biological Sciences*, 2(10), 68–75.
- Kato, N., Samejima, S., and Takahashi, F. (2001). Isomaltose synthesis in the reversed hydrolysis catalyzed by amyloglucosidase immobilized in the thermosensitive gel. In

- Materials Science and Engineering C* (Vol. 17).
- Lambri, M., Dordoni, R., Roda, A., and de Faveri, D. M. (2014). Process development for maltodextrins and glucose syrup from cassava. *Chemical Engineering Transactions*, 38, 469–474.
- Luis Montañez-Soto, J., Humberto González-Hernández, L., Venegas-González, J., Bernardino Nicanor, A., González-Cruz, L., and Justo Sierra N^o, M. (2013). African Journal of Biotechnology Effect of the fructose and glucose concentration on the rheological behavior of high fructose syrups. *African Journal of Biotechnology*, 12(12), 1401–1407.
- Nursandi, F., Machmudi, M., Santoso, U., and Indratmi, D. (2017). Properties of different aged jicama (*Pachyrhizus erosus*) plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 77(1). Institute of Physics Publishing.
- Risnoyatningsih, S. (2011). HYDROLYSIS OF STARCH SACCHARIDES FROM SWEET POTATOES USING ENZYME. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(2), 417–424.
- Samaranayake, M. D. W., Aruma, B. G. C. J., de Silva, Warnakulasuriya, R. D. F., Katudeni, V. T., and Herath, M. T. (2017). Optimization of liquefaction and saccharification times for laboratory scale production of glucose syrup from Cassava starch and scaling up process of optimized conditions at pilot. *Research Journal of Chemical Sciences*, 7(7), 1–5.
- Sembiring, Y. P. (2019). ANALISIS USAHA TANI BENGKUANG (*Pachyrhizus erosus*). Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Singh, R. S., Chauhan, K., and Singh, R. P. (2017). Enzymatic approaches for the synthesis of high fructose syrup. In *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments* (pp. 189–211). Springer Singapore.
- Singh, Ram Sarup, Chauhan, K., and Kennedy, J. F. (2017, March 1). A panorama of bacterial inulinases: Production, purification, characterization and industrial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 96, pp. 312–322.
- Suhartati, N., Orindia, S., and Akmal, D. (2016). Karakterisasi Pati Umbi Bengkoang (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban). *Jurnal Farmasi*, 1–13.
- Sulastriani, Laga, A., and Zainal. (2017). PENGARUH PENGGUNAAN SUHU AWAL LIKUIFIKASI DAN WAKTU PROSES SAKARIFIKASI DALAM MENGHASILKAN SIRUP GLUKOSA. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 17(1), 74–79.
- Tomasik, P., and Derek, H. (2012). Enzymatic conversions of starch. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 68, 186–187.
- Usman, Y. (2013). ANALISIS KEADILAN TATANIAGA BENGKUANG DI KECAMATAN KURANJI KOTA PADANG. *Jurnal Agribisnis Kerakyaktan*, 3, 1–14.
- Vazques Gonzales, M., Calderón-Domínguez, G., Mora-Escobedo, R., Salgado-Cruz, M. P., Arreguín-Centeno, J. H., and Monterrubio-López, R. (2022). Polysaccharides of nutritional interest in jicama (*Pachyrhizus erosus*) during root development. *Food Science and Nutrition*, 10(4), 1146–1158.
- Wahyuningsih, S. (2019). Pengaruh Konsentrasi Enzim α -Amilase pada Hidrolisis Pati Labu Jepang (Kabocho). *CHEESA*, 2(1), 26–32.
- Wardianingsih, R., and Dahiri. (2021). Upaya Mewujudkan Swasembada Gula Nasional. *Buletin APBN*, VI, 3–6.
- Wee, L. L., Annuar, M. S. M., Ibrahim, S., and Chisti, Y. (2011). Enzyme-mediated production of sugars from sago starch:

Statistical process optimization. *Chemical Engineering Communications*, 198(11), 1339–1353.

Wimala, M., Retaningtyas, Y., and Wulandari, L. (2015). Penetapan Kadar Inulin dalam Ekstrak Air Umbi Bengkuang (*Pachyrhizus*

erosus L.) dari Gresik Jawa Timur dengan Metode KLT Densitometri (Inulin Determination of Yam Bean Tuber (*Pachyrhizus erosus* L.) from Gresik East Java using TLC Densitometry). *E-Jurnal Pustaka Kesehatan*, 3, 61–65.